

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE MARÍTIMO EN EL MAR DEL NORTE A ENERO DE 2015

PROYECTO FINAL DE CARRERA

LICENCIATURA EN MÁQUINAS NAVALES

JULIO 2014

AUTORA: **MIHAELA SIN**

DIRECTOR: **F. XAVIER MARTÍNEZ DE OSÉS**

FACULTAD DE NÁUTICA DE BARCELONA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA

Tabla de contenido

1	OBJETIVO.....	6
2.	INTRODUCCIÓN	7
2.1	SITUACIÓN DE LA NORMATIVA DEL ANEXO VI MARPOL.....	7
2.2	INFLUENCIA DE LA NORMATIVA EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO.....	11
2.2.1	..... Disponibilidad y precios del combustible marino	11
2.2.2	..... Influencia en las refinerías	14
3.	MEDIDAS ALTERNATIVAS	17
3.1.	SISTEMAS CON SCRUBBER	17
3.1.1.	..... Definición	17
3.1.2.	..... Marco Legal	19
3.1.2.1.	PLAN A.....	20
3.1.2.2.	PLAN B.....	22
3.1.2.3.	EL AGUA DE LAVADO.....	23
3.1.2.4.	NORMATIVA EUROPEA.....	26
3.1.3.	..... TECNOLOGÍAS SCRUBBER DISPONIBLES	28
3.1.3.1.	SCRUBBER CON AGUA DE MAR – CIRCUITO ABIERTO	28
3.1.3.2.	SCRUBBER CON AGUA DULCE – CIRCUITO CERRADO	31
3.1.3.3.	SCRUBBER CON TECNOLOGÍA HÍBRIDA(Combinación de los dos sistemas) ...	32
3.1.3.4.	EL SISTEMA CSNOx	33
3.2.	USO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS	34
3.2.1.	..... BIOCOMBUSTIBLES	34
3.2.1.1.	ORIGEN	34
3.2.1.2.	TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES	35
3.2.1.3.	INCONVENIENTES DEL USO DE BIOCOMBUSTIBLES EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO	41
3.2.1.4.	MARCO LEGAL	45
3.2.1.5.	El Mercado de los Biocombustibles	46
3.2.1.6.	Biocombustibles Marinos y mezclas	48

3.2.1.7.	Compatibilidad de los biocombustibles en los motores marinos	49
3.2.1.8.	Aspectos en el medio ambiente	53
3.2.1.9.	CONCLUSIÓN GENERAL SOBRE LOS BIOCOMBUSTIBLES	55
3.2.2.	..... GAS NATURAL LICUADO COMO COMBUSTIBLE	56
3.2.2.1.	DEFINICIÓN Y USO	56
3.2.2.2.	DISPONIBILIDAD	56
4.	ZONAS GEOGRÁFICAS ESTUDIADAS	57
4.1.	Definición de las zonas de Control de Emisiones (ECA)	57
4.2.	Designación de las zonas SECAs.....	58
4.3.	Zonas ECAs Europeas	60
4.3.1.	..... EL MAR BÁLTICO	60
4.3.2.	..... EL MAR DEL NORTE	60
4.4.	Zonas ECA's de EE.UU.	61
4.4.1.	.....ZONAS ECA DE NORTE AMÉRICA Y CANADÁ	62
4.4.2.	.....ZONAS ECAs DEL MAR CARIBE	64
5.	ANÁLISIS DE LAS RUTAS REGULARES	66
5.1.	ESTUDIO – RUTA 1	66
	HIRTSHALS – STAVANGER – BERGEN.....	66
5.1.1.	..... EL TIEMPO DE VIAJE DE LA RUTA 1	67
5.1.2.	..... EMISIONES EN LA ATMÓSFERA EN LA RUTA 1	68
5.2.	ESTUDIO – RUTA 2	69
	HIRTSHALS – LANGESUND	69
5.2.1.	.....TIEMPO DE VIAJE DE LA RUTA 2	69
5.2.2.	..... EMISIONES EN LA ATMÓSFERA EN LA RUTA 2	70
5.3.	ESTUDIO – RUTA 3	70
5.3.1.	.....TIEMPO DE VIAJE DE LA RUTA 3	71

5.4. CÁLCULOS DE LAS RUTAS	73
RUTA 1 – HIRTSHALS (Dinamarca) – STAVANGER (Noruega).....	73
RUTA 2 – HIRTSHALS – LANGESUND	75
RUTA 3 – SANDEFJORD (Noruega) – STRÖMSTAD (Suecia).....	76
6. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES BASADA EN EL MODELO MOPSEA	78
6.1..... Detalles de la Actividad de los buques	78
Distintas etapas de navegación.....	78
Estimaciones del % MCR	78
6.2..... FACTORES DE EMISIÓN	79
6.2.1..... MOTORES DE 4 TIEMPOS: Factores de Emisión según la Tecnología	79
6.2.2..... MOTORES AUXILIARES: Factores de Emisión según la Tecnología	81
6.3..... CÁLCULO DE LAS EMISIONES	82
6.3.1..... Cálculo de las emisiones relacionadas con la tecnología	82
6.3.2..... Cálculo de las emisiones relacionadas con el combustible	83
6.3.3..... Cálculo de las emisiones por los Motores Auxiliares	84
7. BLIOGRAFÍA	86

ÍNDICE

1. OBJETIVO
2. INTRODUCCIÓN – Influencia del nuevo requisito de combustibles al 0.1% S
 - Consecuencias de la nueva normativa OMI del contenido en azufre de los combustibles marinos y Directiva de la Unión Europea.
 - Disponibilidad y precios del combustible marino
 - Situación y capacidades de las refinerías
3. MEDIDAS ALTERNATIVAS
 - Combustibles Alternativos
 - Uso de la tecnología de las instalaciones con Scrubbers
 - Coste / Precios
4. ÁREA GEOGRÁFICA
 - Situación en las zonas globales
 - Determinación de las zonas SECAs
5. LÍNEAS EN SERVICIO
 - Análisis de una muestra de líneas regulares del transporte marítimo en las zonas SECAs.
6. COMPARATIVA CARRETERA
 - Transferencia del transporte marítimo a otros medios de transporte
7. ANÁLISIS COSTES EXTERNOS
8. CONCLUSIONES
9. BIBLIOGRAFÍA

1. OBJETIVO

A raíz de la realización del proyecto anterior sobre los efectos del uso de combustibles de bajo contenido en azufre en el transporte marítimo del Mar del Norte, se pretende continuar con el estudio de este tema enfocándose en la situación futura a fecha de 01 de Enero de 2015.

En esta fecha entrará en vigor la nueva regulación del Anexo VI del Convenio MARPOL de la OMI, que limitará el uso de combustibles con contenido superior al 0,1% superior en azufre en las zonas de Control de Emisiones de azufre, también conocidas como SECAs. A consecuencia de ello, se verá afectado el transporte marítimo y las compañías navieras de dichas áreas y también, pero en menor medida, aquellos buques que atraviesen estas aguas.

Por tanto, sería necesario estudiar cuáles son los efectos directos en el transporte marítimo e indicar cuáles podrían ser las medidas para conseguir que esta actividad sea lo más rentable y sostenible posible.

En los primeros capítulos de este proyecto se explicará la situación actual del transporte marítimo en las zonas de control de emisiones, así como su definición y la introducción de nuevas zonas, y las opciones disponibles en el mercado para los buques a fin de cumplir con la normativa, tanto a nivel internacional como a nivel Europeo.

La segunda parte del proyecto es la parte práctica donde se analizará una pequeña muestra de rutas regulares de TMCD¹ del Mar del Norte. Se realizará la comparación entre unas rutas que ya estén aplicando una medida alternativa al uso de combustibles de bajo contenido en azufre y las rutas alternativas que sería el transporte multimodal predominando el transporte por carretera. Se verá que hay dificultades para realizar la comparación con la ruta alternativa exclusivamente por carretera.

Por último, la comparación del estudio realizado se verá en los resultados del análisis de los costes externos del transporte y se podrán obtener las conclusiones sobre cuál es la mejor opción en cuanto a, principalmente, el factor medio ambiente y factor económico.

¹ TMCD: Transporte Marítimo a Corta Distancia o Short Sea Shipping (SSS).

2. INTRODUCCIÓN

El tráfico marítimo está en aumento debido a factores como nuevos mercados, nuevas rutas y la situación económica y política global. También por los países emergentes como China, India, Rusia o Brasil que han creado nuevos comercios mundiales en cuanto a exportaciones e importaciones, que da lugar a la expansión de las redes de producción a escala global y a nuevas rutas comerciales. Pero no sólo a nivel global, sino que en Europa cada vez surgen más líneas de transporte marítimo a corta distancia, y según los estudios se prevé que entre 2000 y 2020 se aumente en un 59%² las toneladas métricas transportadas por este medio. Sin embargo, junto al crecimiento del transporte por vía marítima, también ha habido un crecimiento acelerado de las emisiones de contaminantes a nivel global. Por ejemplo, las emisiones de óxidos de azufre procedentes de la combustión de combustibles residuales son la causa de la producción de la lluvia ácida que afecta principalmente a bosques, suelos, lagos y problemas de salud para la población.

Por lo tanto, la preocupación ambiental de las últimas décadas está llevando a cabo estrictas normativas sobre las emisiones en algunas partes del mundo y menos estrictas a nivel mundial. Pero por otro lado, la lucha contra este cambio podría condicionar el futuro del transporte marítimo, que se verá afectado por diferentes factores, siendo uno de ellos la eficiencia de las rutas comerciales, que tendrán que adaptarse a las nuevas políticas.

2.1 SITUACIÓN DE LA NORMATIVA DEL ANEXO VI MARPOL

La mayoría de las emisiones de NO_x, SO_x y partículas en las zonas marítimas de la UE son emitidas por buques de carga superior a 500 TRB y se estima que alrededor del 45% de las emisiones provienen de buques con pabellón de países de la UE y aproximadamente el 20% de las emisiones se emiten dentro de las 12 millas de mar territorial. Es importante tener en cuenta que las emisiones procedentes de los buques pueden viajar cientos de kilómetros y por tanto, pueden contribuir a problemas de calidad del aire incluso en zonas de ciudades y/o tierras que no tengan acceso a la costa. Esto es relevante por la deposición de los compuestos de azufre y nitrógeno que causan la acidificación de los ecosistemas naturales y amenazan a la biodiversidad.

Diversos estudios indican que con ausencia de políticas, las emisiones de los buques a fecha de 2050 podrían crecer en un 150% desde la fecha de hoy, como resultado del aumento del transporte marítimo.

Por ello, la entrada en vigor del Anexo VI del Convenio MARPOL de la OMI el 19 de Mayo 2005 fue un paso muy significativo para el inicio del cuidado del medio ambiente a nivel mundial por parte de las emisiones provenientes del transporte marítimo.

² **Fuente de Datos:** EU White Paper on Transport, Short Sea Shipping.

Anexo MARPOL	Entrada en vigor	Número de ratificaciones	Flota (%)
Anexo I	2 Octubre 1983	152	99,20
Anexo II	6 Abril 1987	152	99,20
Anexo III	1 Julio 1992	138	97,59
Anexo IV	27 Septiembre 2003	131	89,65
Anexo V	31 Diciembre 1988	144	98,47
Anexo VI Protocolo 1997	19 Mayo 2005	71	94,29

Tabla 1. Estado de los Anexos del Convenio MARPOL a fecha de 30 de Septiembre 2012
[Fuente: MARPOL Edition 2013, IMO, Londres]

El Anexo VI figura en el Anexo del Protocolo de 1997 que enmienda el Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978, que fue adoptado por la Conferencia internacional de las Partes en el Convenio MARPOL en septiembre de 1997. En la Edición Refundida de 2006 se recogen las enmiendas aprobadas a este Anexo que se indican a continuación:

- Enmiendas de 2005 (Resolución MEPC. 132 (53)), sobre la introducción del Sistema armonizado de reconocimientos y certificación, y sobre la designación de la zona del Mar del Norte como nueva zona de control de las emisiones de SOx.
Entraron en vigor el 22 de Noviembre de 2006;
- Enmiendas de 2008 (Resolución MEPC. 176 (58)), sobre el Anexo VI revisado.
Entraron en vigor el 1 de Julio de 2010;
- Enmiendas de 2010 (Resolución MEPC. 190 (60)), sobre la zona de control de las emisiones de Norte América.
Entraron en vigor el 1 de Agosto de 2011;
- Enmiendas de 2012 (Resolución MEPC. 194 (61)), Sobre el modelo revisado del Suplemento del Certificado IAPP.
Entraron en vigor el 1 de Febrero de 2012;
- Enmiendas de 2011 (Resolución MEPC. 202 (62)), para la revisión de las reglas 13 y 14 del Anexo VI, si quedaran aceptadas el 1 de Julio de 2012, entrarían en vigor el 1 de enero de 2013;
- Enmiendas de 2011 (Resolución MEPC. 203 (62)), sobre la eficiencia energética de los buques, si quedan aceptadas el 1 de Julio de 2012, entraría en vigor el 1 de Enero de 2013.

El Anexo VI se aplica a todos los buques, excepto donde se disponga lo contrario en varios reglamentos. A diferencia de otros Anexos del MARPOL, el Anexo VI controla un rango de diferentes fuentes contaminantes junto con ciertos aspectos relacionados con las operaciones de buques que pueden resultar en una contaminación del medio ambiente. La contaminación

del medio ambiente no tiene las causas directas y efectos asociados, que los de por ejemplo, un incidente de derrame de combustible. Más bien, tiene el efecto acumulativo del transporte en general, el cual contribuye sobre todo a la calidad del aire de una población de gran entorno y que afecta tanto a medio ambientes naturales como artificiales y que directamente repercute a distancias considerables desde el punto de emisión, es decir, alejado del mar.

Los controles del Anexo VI regulan lo siguiente:

- ✓ Sustancias destructoras del ozono liberadas de los sistemas de refrigeración y equipos de extinción de incendios. Estas sustancias también se encuentran en algunos tipos de espumas de aislamiento;
- ✓ Emisiones de Óxidos de Nitrógeno de la combustión de motores diesel;
- ✓ Emisiones de Óxidos de Azufre y Partículas volátiles de la combustión de carburantes que contienen azufre.
- ✓ Componentes orgánicos volátiles, vapores de hidrocarburo desplazados de los tanques de carga de los buques;
- ✓ Incineración a bordo;
- ✓ Calidad del combustible en la medida en que está relacionada con una serie de problemas que afectan a la calidad del aire.

El cumplimiento de los requisitos pertinentes del Anexo VI se indica mediante la emisión de un Certificado de Prevención de Contaminación Atmosférica (IAPP) para los buques de arqueo bruto igual o superior a 400 G.T. y para plataformas y buques de perforación que realicen viajes internacionales. Para los buques de 400 G.T. o más, se requiere la emisión de un Certificado Internacional de Eficiencia Energética (IEE). Para los buques de menos de 400 G.T. se deben desarrollar las medidas apropiadas por la Administración a fin de demostrar el cumplimiento necesario.

En este Anexo, como se explicará también en los próximos capítulos, se establecieron las primeras “Áreas de Control de Emisión – ECA), tras demostrar que las emisiones del transporte marítimo internacional tienen un efecto adverso en las zonas de tierra adyacente en lo que respecta a la salud pública o el medioambiente. En una zona ECA se aplican límites inferiores de emisiones de óxido de nitrógeno (NO_x – Zona NECA), u óxido de azufre (SO_x – Zona SECA) y emisiones de partículas o de los tres tipos de emisiones.

A fecha de desarrollo de este proyecto, las Áreas de Control de Emisiones son:

▪ **Control de NO_x**

1. Áreas de Norte América;
2. Área del Mar Caribe de los Estados Unidos.

▪ **Control de SO_x y Partículas Volátiles**

1. Área del Mar Báltico;
2. Área del Mar del Norte;
3. Área del Norte de América – Con entrada en vigor el 1 de Agosto de 2011;

4. Área del Mar Caribe de los Estados Unidos – Con entrada en vigor el 1 de Enero de 2014.

En cuanto a las emisiones de SOx y Partículas, el control por parte de la normativa es de aplicación a todo combustible usado a bordo de los buques, en el que se incluyen los motores principales y todos los auxiliares junto con los equipos como generadores de vapor y generadores de gas inerte. Estos controles están divididos entre aquellos que son de aplicación en las zonas de control de emisiones (ECA) y aquellos controles aplicables fuera de dichas zonas.

Principalmente, los objetivos serán alcanzados mediante la limitación del máximo contenido de azufre en el combustible suministrado a los barcos y consecuentemente usado a bordo. Los límites de azufre en el combustible (expresados en términos de % m/m, en masa) están sujetos a una serie de cambio a lo largo de los años como se observa en la tabla de más abajo.

FUERA de la zona ECA	DENTRO de las zona ECA
4,50% m/m antes de 01 Enero 2012	1,50% m/m antes de 01 Julio 2010
3,50% m/m en y después de 01 Enero 2012	1,00% m/m en y después de 01 Julio 2010
0,50 % m/m en y después de 01 Enero 2020*	0,10% m/m en y después de 01 Enero 2015

*Depende de revisión, para ser concluida en 2018, según la disponibilidad del combustible requerido, esta fecha puede ser aplazada al 1 de Enero de 2025.

Tabla 2. Límites establecidos para el contenido en azufre del combustible usado a bordo

[Fuente: MARPOL, Edition 2013, IMO, Londres]

En octubre de 2008, la Organización Marítima Internacional (OMI) adoptó unos límites más estrictos para el contenido de azufre en los combustibles marinos. Las nuevas regulaciones, como se puede ver en la tabla anterior, fijan el valor límite de azufre por debajo del 0,1% en peso en las zonas SECA a partir del 1 de Enero de 2015 y el valor límite por debajo de 0,5% en peso en las demás zonas globales a partir del 2020, con posibilidad de revisión hasta el 2018 para entrar en vigor en 2025, según los estudios sobre el suministro y disponibilidad de este combustible. Aunque según las previsiones la disponibilidad de combustibles de bajo contenido en azufre serán suficientes hasta después de 2015³.

En la regulación 18, norma 14, de este Anexo VI se determina la calidad del combustible a ser suministrado en el buque y también los requisitos para su almacenamiento. Se establece el requisito de mantener un registro riguroso y que los combustibles no se mezclen durante el

³ **Fuente:** Conclusiones del estudio realizado sobre el impacto ambiental llevado a cabo por Finlandia, según la industria Sueca del petróleo y también según los análisis de EE.UU. y Canadá sobre la incorporación de sus costas a las Áreas de Control de Emisiones.

aprovisionamiento, para asegurar que no se infringen los límites. Sin embargo, hay otros métodos por los que se controlan los niveles equivalentes de emisión de SOx y de partículas.

Los métodos equivalentes de control pueden ser divididos en primarios (evitar la formación del contaminante) y secundarios (el contaminante se forma y después se elimina, previamente a descargarse a la atmósfera en la corriente de los gases de escape).

Por tanto, uno de los niveles de control de los combustibles marinos es sobre el contenido de azufre en el combustible suministrado. Este valor debe ser declarado por el proveedor del combustible mediante el comprobante de entrega del combustible, también conocido como *Nota de Entrega*. En el caso de que se esté suministrando combustibles para el uso dentro de las zonas SECA, la tripulación del buque deberá asegurar que aquellos combustibles no serán mezclados con otros combustibles de alto contenido en azufre. Por ejemplo, se necesitaría evitar rellenar un tanque parcialmente lleno, como tanques de sedimentación o servicio diario que contuvieran combustibles no aptos para las zonas SECA. Por tanto, se tendrá que asegurar que la disposición de los tanques de almacenamiento, sedimentación y servicio diario, junto con los sistemas asociados de trasiego, tratamiento y servicio están diseñados e instalados de tal manera que los diferentes combustibles se mantienen separados, sin hacer contacto. Adicionalmente, los sistemas de servicio de todas las unidades de quema de combustible deben ser capaces de cambiarse al combustible adecuado según la demanda de la zona de navegación. La capacidad de los tanques de almacenamiento de combustible y su disposición deberá ser la adecuada para las zonas previstas de operación del buque, teniendo en cuenta los puertos desde los cuales será suministrado el combustible y la proporción de tiempo que se dedicará dentro y fuera de cada una de las zonas.

En cuanto a la normativa Europea para la regulación del valor límite de azufre en los combustibles marinos, según la directiva UE 1999/32/EC, Artículo 4, junto con las enmiendas para la normativa UE 2012/33/EC, el contenido de azufre en los combustibles marinos dentro de las aguas territoriales de un Estado miembro de la Unión Europea, no debe exceder del 0,1% en peso. Esto es aplicable a todos los buques, independientemente de su bandera. De esta forma, desde el 1 de Enero de 2010 tampoco podrá exceder el 0,1% de contenido en azufre en los combustibles marinos ningún buque que esté en puerto con la excepción de que sea una estancia corta (demora) inferior a 2 horas.

2.2 INFLUENCIA DE LA NORMATIVA EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO

2.2.1 Disponibilidad y precios del combustible marino

El combustible suministrado a los buques (operación de búnker) es aquel producto residual tras la obtención de los demás productos de la destilación del petróleo crudo. Los distintos tipos de combustible pesado que se pueden encontrar en el mercado se diferencian por la calidad, que afecta principalmente a las emisiones de contaminantes y a su funcionamiento en los motores marinos, así como en su coste principalmente.

Los combustibles de peor calidad generan problemas de corrosión y erosión en la maquinaria del buque, por lo que la probabilidad de averías graves es mayor, así como los costes de mantenimiento y reparación son mayores. Por otro lado, el uso de combustibles ligeros es compatible con lubricantes menos sofisticados y de menor coste. Pero por regla general, el naviero emplea combustibles más económicos sin tener en cuenta los aspectos antes mencionados además de que son más contaminantes a pesar de que el rendimiento sea aceptable.

Además, el consumo de combustible a bordo del buque depende de muchos factores, principalmente del tamaño y tipo de buque. Pero también es fundamental la forma de operación de éste y por ello es necesario establecer una velocidad óptima de navegación además de otros parámetros. Un incremento en la velocidad del buque supone un mayor consumo de combustible y por tanto, del coste y del aumento de la contaminación variando con el tipo de combustible usado.

El uso de combustibles de menor contenido en azufre supone un mayor coste para la compañía ya que los combustibles más destilados son más caros. Por tanto, el proceso de compra del combustible es muy importante para la explotación del buque, ya que suele ser el gasto más relevante. Por ello es fundamental tener en cuenta las fuertes oscilaciones del precio del crudo que ocurren en corto plazo de tiempo, semanas o meses y que afecta sobre todo a los combustibles marinos. Es necesario que la compañía sepa escoger el producto óptimo, el puerto y el proveedor más conveniente, según su ruta, así como controlar los parámetros óptimos de operación del buque (velocidad, ruta, etc).

Según estudios por parte de la Administración Marítima de Suecia y la de Finlandia, los efectos estimados en la industria del transporte marítimo se ven en el incremento del coste del combustible de alrededor del 50-55% para el año 2015, asumiendo que el precio del combustible crudo no varía. Para los buques que transportan principalmente carga entre puertos dentro de las zonas SECA, el incremento del coste del combustible será, sin embargo, de alrededor del 70%. Al mismo tiempo, las emisiones de azufre disminuirían alrededor de 80.000 toneladas, correspondiendo a unos beneficios económicos de 4 billones de SEK⁴. Estos datos se obtuvieron asumiendo que los costes del suministro de combustible comprenden entre el 40% y 50% de los gastos totales de la explotación de un buque. Por ello, un combustible más caro se reflejaría en los costes del transporte marítimo como un incremento medio del 20%-28%. Traduciendo estos valores a términos de transporte de mercancías, el incremento del coste estimado por tonelada transportada sería entre 20 y 100 SEK. La amplia diferencia entre estos valores es debida a las diferentes configuraciones del transporte, desde el tamaño del buque que lo transporta hasta la relación de carga, así como de la existencia de devolución o no de la carga (vuelta en vacío).

Por tanto, los precios del transporte de la carga crecerán considerablemente y la influencia del incremento del precio en el fleta se notará cada vez más en aquellos sectores que importan y exportan a grandes escales y se encuentran lejos de sus principales mercados, por ejemplo la industria del acero y la industria forestal para el caso de Finlandia.

⁴ **Fuente de Datos:** Swedish Maritime Administration Study – *Consequences of the IMO's new marine fuel sulphur regulations*, 14 Mayo 2009.

Sin embargo, junto a los beneficios socio-económicos de la reducción de las emisiones de azufre también se tienen que añadir los beneficios de la reducción de emisión de partículas, que se prevé que desciendan alrededor del 80%-85%. La disminución de las partículas grandes ($>PM\ 10$) tiene, en este caso, más significado a nivel medio ambiental local. La mayoría de los combustibles de bajo contenido en azufre en los motores modernos dan lugar a la formación de partículas muy pequeñas ($<PM\ 2.5$ y $<PM\ 1.0$). Estas partículas se expanden por áreas mayores y son más propensas a afectar el tejido pulmonar y la circulación sanguínea en las personas. Cabe anotar que la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) espera una reducción del 79% de las muertes prematuras causadas por la emisión de partículas ($<PM\ 2.5$) proveniente del transporte marítimo.

2.2.2 Influencia en las refinerías

EL REFINO DEL PETRÓLEO

El petróleo crudo es refinado y procesado en diferentes productos. El petróleo, por ser de diferentes partes del mundo tiene a través de su origen distintas composiciones y por tanto, es muy importante en su elección para qué productos está destinado. El precio y el sistema y función de la refinería depende de la porción de los diferentes hidrocarburos que contiene el producto, por ejemplo: gasolina, gasóleo o combustible pesado. El contenido en, por ejemplo, azufre y metales pesados tiene un gran impacto en los precios. En la refinería, el crudo se divide en distintas fracciones debido a los intervalos de ebullición, por ejemplo: cuando cambia de estado de líquido a gas o de gas a líquido.

Mediante el control de este proceso las refinerías pueden regular la producción de gasolina, gasóleo, así como de combustibles ligeros y pesados, dependiendo de la demanda del mercado. La producción de diferentes tipos de productos depende en como de grande es la compartición de diferentes fracciones del crudo incluyendo la configuración individual de cada refinería. Esta refinación se realiza en las llamadas plantas de “upgrading”, tales como: crackero térmico, hydro cracker, crackero catalítico o en unidades de coquización.

- El craqueo térmico es el proceso de descomposición de las cadenas largas de hidrocarburos a altas temperaturas, consiguiendo que la viscosidad del combustible residual sea menor y aumentando la obtención de gasóleo, combustibles residuales más ligeros y gasolinas.
- En el proceso de hydrocracking existe la posibilidad de producir combustibles medio destilados (gasóleos, diesel) a partir de fracciones pesadas (combustibles pesados).
- Por último con el craqueo catalítico los combustibles pesados son refinados para obtener productos de mayor demanda, así como gasolinas, combustibles diesel y otros combustibles pesados, mediante el llamado proceso de renovación.

En el proceso de producción las diferentes fracciones de los hidrocarburos son combinadas de tal manera para conseguir los productos demandados según las especificaciones y estándares tanto para los vehículos como para los buques con el contenido específico en azufre, aromáticos, calidad de ignición, etc. Las refinerías de esta forma, suelen producir en general combustibles con un contenido máximo de azufre del 0.5%. Esto es aplicable principalmente a aquellas refinerías que no tienen una capacidad adicional de conversión y por lo tanto, escogen el proceso de producción de combustibles de bajo contenido en azufre. Con el fin de obtener combustibles con un contenido en azufre inferior al 0.1%, estos deberán ser refinados aún más.

SITUACIÓN DE LAS REFINERÍAS

Con el fin de cumplir con el aumento de la demanda de combustibles de bajo contenido en azufre para el año 2015, las refinerías han tenido que reorganizar su perfil de producción. Las

diferentes medidas o combinaciones de medidas a adoptar en la industria de la industria del petróleo son las siguientes:

1. Optimización de la separación y mezcla del HFO para obtener el suministro de combustible de bajo contenido en azufre.
2. Procesamiento de mayor cantidad de combustible de bajo contenido en azufre.
3. Desulfurización del combustible pesado.
4. Conversión del combustible pesado en combustible para vehículos.
5. Exportación del excedente del bunker de combustibles de alto contenido en azufre.
6. Los combustibles alternativos

Optimización de la separación y mezcla del HFO para obtener el suministro de combustible de bajo contenido en azufre.

Esta operación se basa en llevar el nivel de refinamiento del petróleo crudo según la demanda de productos destilados medios y altos. Para conseguir combustibles de bajo contenido en azufre se realizan mezclas de distintos tipos de combustibles destilados medios y a través de los procesos de la refinería se obtiene un combustible con hasta un mínimo de 0.5% de azufre en peso. Sin embargo, la potencia de esta operación está limitada.

Procesamiento de mayor cantidad de combustible de bajo contenido en azufre.

Actualmente la demanda del combustible de bajo contenido en azufre ha crecido y seguramente también lo hará después del 2015, puesto que el combustible de bajo contenido en azufre requiere de un refino menor que el de alto contenido, al mismo tiempo que el suministro de este combustible es limitado y la competencia por ellos se aumentará.

La escasez de petróleo crudo para obtener combustibles con bajo contenido en azufre es muy probable que conlleve a un proceso de mezcla a nivel más grande del petróleo de alto contenido durante su producción.

Desulfurización del combustible pesado.

Una de las refinerías más grandes del Norte de Europa, PREEM, sostiene que la demanda de HFO disminuirá en 2015 y apunta que la desulfurización requerida para llegar al 0.1% de contenido en azufre en los combustible supone unas inversiones demasiado altas mientras que las inversiones para el aumento del uso de combustibles usados para producir destilados medios son considerablemente bajas y más orientadas hacia el futuro. Por otra parte, la desulfurización del HFO también supone el incremento de las emisiones de CO₂, que aún así se aplica a todas las refinerías aunque en distintas medidas.

Conversión del combustible pesado en combustible para vehículos.

PREEM sostiene también, que las unidades de coquización que son requeridas para refinar fracciones pesadas (HFO) para los vehículos y combustibles para los buques, a pesar de las inversiones que suponen, tienen un periodo de amortización de alrededor de 4-5 años. Las inversiones en las unidades de coquización son sin embargo sensibles, debido a posibles

aplicaciones alternativas de la ingeniería como el uso de gas natural como combustible o los equipos de desulfurización de los gases de combustión a bordo de los buques, que podrían significar la continuidad del uso de combustibles pesados de alto contenido en azufre.

Exportación del excedente del bunker de combustibles de alto contenido en azufre.

Como se ha mencionado en el anterior caso, hacer inversiones en las unidades de coquización es bastante delicado debido también a la situación económica y a las alternativas disponibles en cuanto al uso de combustibles de bajo contenido en azufre. Por lo tanto, un escenario posible para el año 2015 es que parte del combustible de alto contenido en azufre sea, por una temporada, exportado a aquellas zonas donde está permitido el consumo de combustible con mayor porcentaje de azufre o que sea usado alternativamente como combustible de reserva o de base para estaciones eléctricas con equipos de desulfurización.

Los Combustibles Alternativos

Con el desarrollo de combustibles alternativos, el negocio de las refinerías tiene un toque ambiental bien orientado. El suministro de combustibles renovables es todavía limitado pero se está trabajando en aumentar la mezcla de estos combustibles alternativos para los motores marinos sobretodo. Las mezclas más comunes que se desarrollan son por ejemplo: biodiesel a partir del aceite de resina y biomasa.

Por otro lado, el volumen de producción es limitado y son principalmente usados en el sector del transporte por carretera con el fin de satisfacer con los objetivos de la proporción de uso de combustibles renovables así como para hacer frente a las emisiones de los gases de efecto invernadero provenientes del sector transporte.

LAS OPCIONES DE LAS REFINERÍAS PARA EL AÑO 2015

Se pueden identificar hasta cinco posibles situaciones para las refinerías para desarrollar los combustibles de bajo contenido en azufre, que las refinerías pueden escoger según estos factores:

- Costes de la inversión
- La sostenibilidad de la tecnología a largo plazo
- Las posibles novedades y desarrollos tecnológicos

Por ejemplo, la técnica de optimizar la separación y mezcla de combustibles pesados con el suministro de combustibles de bajo contenido en azufre está limitada para los combustibles marinos con un contenido mínimo del 0.5% en azufre por peso. Pero la mayoría de las refinerías afirman que utilizando esta tecnología no será posible producir combustibles con un máximo de contenido en azufre del 0.1%.

Otra posibilidad que tienen las refinerías es procesar el petróleo crudo en combustibles medio destilados con hydrocrackers a unos costes de inversión inferiores, debido a que frecuentemente se realiza en las plantas ya existentes de hydrocracking. Ya que la demanda del HFO para uso marino está decreciendo y lo seguirá haciendo durante el 2015 también.

3. MEDIDAS ALTERNATIVAS

Existen algunas opciones disponibles en el mercado para aquellos armadores que quieran cumplir con la normativa de la limitación del azufre del Anexo VI mediante otros métodos que no sean de cambiar al uso de combustibles destilados. Los requisitos de cumplir con el 0.1% en masa de azufre en los combustibles marinos pueden ser cumplidos también usando combustibles de alto contenido en azufre junto a tecnologías que obtienen los niveles “equivalentes” de emisiones o cambiando a combustibles que no contienen azufre.

En cuanto al actual desarrollo tecnológico de la primera opción, se supone la instalación de uno o más *scrubbers* en el buque con el fin de reducir el azufre de los gases de escape, mientras que la opción del uso de combustibles alternativos significa principalmente el uso de gas natural licuado (GNL), y en menor proporción, el uso de biocombustibles.

A continuación se explicarán detalladamente las opciones que se ofrecen en el mercado ante estas posibilidades alternativas al uso de combustibles destilados.

3.1. SISTEMAS CON SCRUBBER

- Introducción
- Marco Legal
- Tecnologías disponibles
- Impacto en el medio ambiente y otras consideraciones técnicas

3.1.1. Definición

El sistema de scrubber ha sido utilizado en tierra con éxito para reducir las emisiones de SO_x de las plantas industriales desde los años 1930. El principio básico es tener un fluido que sea capaz de absorber SO_x y neutralizar los residuos que están en contacto con los gases de escape. El SO₂ que se absorbe reacciona con el material alcalino en el líquido, formando SO₄. El azufre que contenía el producto sale del scrubber con los demás residuos y los gases de escape *desulfurizados* a través de la chimenea. Los residuos, o también conocidos como lodos, se almacenan a bordo para ser entregados a una instalación receptora en tierra.

El agua de mar, gracias a su alcalinidad neutral, ha tenido éxito usándose como fluido para los scrubbers de los gases de escape de las calderas en los petroleros desde 1960 y ahora es ampliamente usada para la limpieza de los gases de escape de las plantas de calderas de los buques tanque obteniendo un gas inerte limpio y previniendo las mezclas explosivas de gas/aire. Todos los petroleros tienen instalado un sistema de gas inerte y la mayoría usan el agua de mar para los scrubbers con este propósito.

Desde los años 90, esta tecnología ha sido adaptada para utilizarse en la limpieza de los gases de escape de los motores principales y auxiliares. Los resultados de las pruebas y ensayos de la

reducción de las emisiones de SOx en los proyectos implementados en los buques muestran una eficiencia de la limpieza del SOx del 90%.

Según la configuración del buque se realiza un diseño particular para cada motor principal o auxiliar, de los sistemas de limpieza de los gases de escape (LGE en adelante – también conocido como EGCS – Exhaust Gas Cleaning System). Por las restricciones del espacio y los costes se han ido desarrollando unidades LGE integrados que con solo una unidad para los motores principales y auxiliares es suficiente. Aunque existe también la posibilidad de una configuración más básica que consiste en que la unidad LGE esté vinculada únicamente al motor principal, ya que en algunos casos los motores auxiliares sólo funcionan con combustibles destilados, y por tanto, no necesitan un sistema de limpieza de los gases de escape.

La tecnología de los sistemas scrubber se ha ido desarrollando a lo largo de estos últimos años y algunas Sociedades de Clasificación (incluyendo DNV y GL) han certificado ciertos equipamientos basados en pruebas y ensayos de éxito.

En cuanto a los aspectos relacionados con el ruido, la estabilidad, la calidad del agua de limpieza y su impacto en el ambiente y la toxicidad de los lodos han sido abordados por los fabricantes asegurando su optimización. Con esta información aportada por los fabricantes, tanto los scrubber que funcionan con agua dulce como los de agua salda han demostrado la idoneidad para las aplicaciones marítimas y según los fabricantes están listos para su instalación y uso.

Por lo tanto, los buques que dispongan de una instalación con scrubbers pueden seguir usando combustibles con alto contenido en azufre después de la entrada en vigor de la normativa en enero de 2015, por ello es un punto importante que influye en las decisiones de inversión de las refinerías.

Desde la OMI se han establecido las normativas correspondientes para los vertidos del agua de lavado que contiene azufre de los scrubber abiertos que usan agua salada. Esta agua tiene una alta cantidad de sal y alta alcalinidad con el fin de neutralizar las emisiones de los ácidos y por tanto es un problema para los islotes, ríos y otros ambientes sujetos a la acidificación. Por ejemplo, en la zona del Mar Báltico donde se necesitarían grandes volúmenes de agua con el fin de disminuir el impacto ambiental a un nivel aceptable.

En cambio, los sistemas scrubber cerrados de agua dulce neutralizan el azufre desde el flujo de los gases de escape en el barco con ayuda de soda cáustica y desde el punto de vista medioambiental son más aceptables con la condición de que no hay emisiones en el medioambiente marino. Sin embargo se crean nuevos problemas en cuanto a la seguridad del trabajo en las instalaciones de recepción establecidas en los puertos que requieren un cierto cuidado y manejo de los residuos peligrosos teniendo unos costes correspondientes para el transporte y destrucción. Estos residuos en ningún caso podrán ser mezclados con lodos o derrames de combustibles ya que los tratamientos para éstos son diferentes.

3.1.2. Marco Legal

En la regla 4 del Anexo VI revisado del MARPOL se permite, con la aprobación de la Administración, el uso de un método de cumplimiento alternativo al menos tan eficaz en términos de reducción de emisiones como las normas establecidas en el Reglamento 14 de dicho anexo, que regula el contenido en azufre de los combustibles marinos para ser usados en distintas zonas del mar. Este método de cumplimiento podrá ser una unidad de Limpieza de Gases de Escape, conocido como LGE o scrubber, a reserva de comprobaciones periódicas de las emisiones y los parámetros o irá provisto de un dispositivo de vigilancia continua de las emisiones.

Las directrices sobre los sistemas LGE revisadas en el MEPC 59/24/add.1 – Anexo 9 2009 especifican los requisitos para el ensayo, certificados de inspección y verificación de los sistemas de limpieza de gases de escape para asegurar que proveen la reducción eficaz de las emisiones. Como fundamento de utilización de la vigilancia de las emisiones de SO_x, se utilizará el parámetro SO₂ (ppm)/CO₂ (%) como base para el sistema de control. Por tanto, el cumplimiento se demuestra basándose en los valores de la relación SO₂ (ppm)/CO₂ (% v/v) de la tabla siguiente:

Contenido de azufre en el combustible (% m/m)	Relación de emisiones SO ₂ (ppm)/CO ₂ (% v/v)
4,50	195,0
3,50	151,7
1,50	65,0
1,00	43,3
0,50	21,7
0,10	4,3

Tabla 3. Límites del contenido de azufre del fueloil especificados en las reglas 14.1 y 14.4 del Anexo VI MARPOL 73/78 y valores de emisión correspondientes

Nota: Los límites de las relaciones de emisiones sólo se aplican cuando se utilicen combustibles destilados o fueloil residuales derivados del petróleo. Para la aplicación del método basado en la relación, véase el apéndice.

Los buques que vayan a utilizar parcial o totalmente un sistema de limpieza de los gases de escape deberían contar con un Plan de Cumplimiento de las Emisiones de SO_x (SECP) aprobado.

Las directrices se aplican a todas las unidades LGE instaladas a bordo de máquinas que consuman fueloil⁵, excluidos los incineradores de a bordo, y se permiten dos planes:

3.1.2.1. PLAN A

- **Plan A: Aprobación, Reconocimiento y Certificación del Sistema LGE mediante comprobaciones de los parámetros y emisiones.**

Está basado en la homologación y certificación del sistema de limpieza de los gases de escape. Se debe obtener un certificado de cumplimiento para las zonas SECA. Este documento indica que el sistema viene con un manual técnico y que se llevan a cabo las mediciones del agua de lavado.

Las operaciones del Plan A con el fin de realizar las comprobaciones correspondientes, incluye:

- a) Aprobación de la unidad;
- b) Unidades fabricadas en serie;
- c) Aprobación de la gama de productos.

Aprobación de la unidad:

Una unidad LGE debería certificarse como apta para satisfacer tanto el valor límite (el valor certificado) que especifique el fabricante (es decir, el nivel de emisión que la unidad puede alcanzar de manera continua) con un fueloil que cumpla el contenido máximo de azufre en % masa/masa especificado por el fabricante, y para la gama de los parámetros de funcionamiento para los que ha de aprobarse. El valor certificado debería como mínimo ser tal que el buque se explote en las condiciones prescritas en las reglas 14.1 y/o 14.4 del Anexo VI del Convenio MARPOL.

Unidades fabricadas en serie:

En el caso de las unidades LGE nominalmente análogas y con los mismos caudales máxicos que se certifican en virtud de lo establecido en la sección “aprobación de la unidad”, y para evitar que cada unidad LGE se someta a prueba, el fabricante del equipo puede presentar una conformidad de acuerdo de producción para que la acepte la Administración.

Aprobación de la gama de productos:

En el caso de una unidad LGE que tenga un proyecto idéntico, pero distintas capacidades de caudal máxico máximo de los gases de escape, la Administración puede aceptar que, en lugar de someter a prueba todas las capacidades de las unidades LGE de conformidad con la sección “Aprobación de la unidad”, los ensayos de dichos sistemas de limpieza se realicen con referencia a tres capacidades distintas, siempre y cuando estos ensayos se lleven a cabo a

⁵ **Unidad de combustion de fueloil:** Todo motor, caldera, turbina de gas u otro equipo alimentado con fueloil, excluidos los incineradores de a bordo.

intervalos que incluyan los índices de capacidad más alto y más bajo de la gama y uno intermedio.

▪ **Límites de las emisiones**

- Cada unidad LGE debería ser apta para reducir las emisiones y que éstas sean iguales o inferiores al valor certificado en cualquier punto de carga cuando se esté funcionando de conformidad con los criterios explicados en los anteriores apartados.
- Las unidades LGE instaladas en los motores propulsores principales diesel deberían satisfacer lo anteriormente mencionado en todas sus cargas que se encuentren entre el 25% y el 100% de todos los rangos de carga de dichos motores.
- Las unidades LGE instaladas en los motores auxiliares diesel deberían satisfacer lo prescrito también anteriormente en todas las cargas que se encuentren entre el 10% y el 100% del rango de carga de dichos motores.
- Las unidades LGE instaladas en motores diesel utilizados con fines de propulsión y como motores auxiliares deberían satisfacer lo prescrito en la regla para motores auxiliares previamente explicada.
- Las unidades LGE instaladas en calderas deberían satisfacer lo prescrito en la primera regla en todas las cargas que se encuentren entre el 10% y el 100% de la gama de carga (régimen de vaporización) o, si el margen de regulación es inferior, por encima de la gama de carga real de las calderas.

A fin de demostrar el rendimiento, deberían medirse las emisiones en cuatro puntos de carga como mínimo:

- 1) En el 95-100% del caudal másico máximo del gas de escape para el que se certificará la unidad.
- 2) Entre el +/- 5% del caudal másico mínimo del gas de escape para el que se certificará la unidad.
- 3) y 4) Los dos puntos restantes se espaciarán por igual entre los caudales másicos máximo y mínimo del gas de escape.

En el Plan A, si no está instalado un sistema de vigilancia continua, se recomienda que se realice una comprobación aleatoria diaria de la calidad de los gases de escape en términos de la relación SO₂ (ppm) / CO₂ (%) para comprobar el cumplimiento.

3.1.2.2. PLAN B

- **Plan B: Aprobación, Reconocimiento y Certificación del Sistema LGE mediante la Vigilancia Continua de las emisiones de SOx.**

Se basa en la vigilancia continua de las emisiones de SOx. El sistema para la vigilancia debe estar aprobado por la Administración del país de abanderamiento del buque, y debe ser capaz de aportar resultados que serán usados para demostrar el cumplimiento de la normativa.

El presente Plan debería utilizarse para demostrar que las emisiones procedentes de una unidad de combustión de fueloil equipada con un sistema LGE presentarán, con dicho sistema funcionando, el valor de emisión prescrito (es decir, el que figura en el SECP) o uno inferior en cualquier punto de carga, incluida la fase de transición, de conformidad con lo dispuesto en las reglas 14.1 y/o 14.4 del Anexo VI del Convenio MARPOL.

Las emisiones tanto de SOx como de CO2 deben ser medidas por ambos sistemas. También sería obligatorio para ambos esquemas un manual de control de a bordo para detallar cómo se logra el cumplimiento y demostrarlo.

Ensayos Relativos a las Emisiones

Debería medirse el CO2 en seco utilizando un analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR). Debería medirse el SO2, en seco o húmedo, utilizando analizadores infrarrojos no dispersivos (NDIR) o analizadores ultravioleta no dispersivos (NDUV) y con equipo complementario, como por ejemplo, secadores, según se necesite.

Cuando se mide el SO2 in situ, también habrá que determinar el contenido de agua en la corriente del gas de escape en ese punto para ajustar la lectura del SO2 a un valor correspondiente a la base seca.

Manual de Vigilancia de a Bordo (OMM)

La elaboración del OMM debería abarcar la unidad LGE instalada junto con el equipo de combustión de fueloil que tenga que ser identificada y para los cuales se tenga que demostrar el cumplimiento.

En el OMM se deberían incluir, como mínimo, los siguientes aspectos:

- Los sensores que han de utilizarse para evaluar el rendimiento del sistema LGE y la vigilancia del agua de lavado, así como las prescripciones relativas a su servicio, mantenimiento y calibración;
- Los puestos desde donde se realizarán las mediciones de las emisiones de los gases de escape y la vigilancia del agua de lavado, junto con los datos relativos a todos los servicios auxiliares que resulten necesarios, como por ejemplo líneas de trasvase de muestras y unidades de tratamiento de muestras, además de todas las prescripciones que guarden relación con el servicio y el mantenimiento;
- Los analizadores que vayan a ser utilizados, así como las prescripciones relativas a su servicio, mantenimiento y calibración;

- Los procedimientos de calibrado y de calibración de fondo de escala del analizador; y
- Otros datos o información pertinente para el correcto funcionamiento del sistema de vigilancia o su utilización con el fin de demostrar el cumplimiento.

El OMM debería indicar cómo se llevará a cabo el reconocimiento del sistema de vigilancia.

Plan de Cumplimiento por el Buque de las Emisiones de SOx (SECP)

Con objeto de cumplir lo prescrito en las reglas 14.1 y 14.4 del Anexo VI del Convenio MARPOL, todos los buques que vayan a utilizar una unidad LGE, en parte o en su totalidad, deberían contar con un SECP aprobado por la Administración.

En el SECP se debería enumerar cada elemento del equipo de combustión de fueloil que tenga que ajustarse a las prescripciones para funcionar de conformidad con las prescripciones de las reglas 14.1 y/o 14.4.

3.1.2.3. EL AGUA DE LAVADO

Criterios de Descarga del agua de lavado

Cuando el sistema LGE se utilice en puertos o estuarios, la vigilancia y el registro del agua de lavado deberían ser continuos., Se debería hacer una vigilancia y registro de los valores de pH, PAH, turbidez y temperatura. El equipo de vigilancia y registro continuo debería estar en funcionamiento siempre que esté activado el sistema LGE, salvo durante breves periodos de mantenimiento y limpieza del equipo. El agua de lavado debería cumplir los límites siguientes:

- Criterios aplicables al pH

El PH del agua de lavado debería cumplir la siguiente prescripción, la cual habría que consignar en el libro técnico ETM del Plan A o B (ETM-A / ETM-B), según proceda:

El pH del agua de lavado no debería ser inferior a 6.5 al descargarse en el mar con la excepción de que, durante maniobras y en tránsito, se permita una diferencia máxima de 2 unidades entre el pH de entrada y el de salida.

- Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)

La concentración de PAH en el agua de lavado debería cumplir las siguientes prescripciones y se debería especificar el límite apropiado en el ETM-A o en el ETM-B.

La concentración máxima continua de PAH en el agua de lavado no debería ser superior a 50 µg/L de PAH_{phe} (fenantreno equivalente) por encima de la concentración de PAH del agua de entrada. A los efectos del presente criterio, la concentración de PAH en el agua de lavado debería medirse en el efluente del equipo de tratamiento del agua, pero antes de la dilución del agua de lavado o de otra unidad de dosificación de reactivos que pueda utilizarse previamente a la descarga.

El límite de 50 µg/L indicado *supra* es el normalizado para un caudal de agua de lavado a través de la unidad LGE de 45 t/MWh, donde MW hace referencia al régimen continuo máximo (MCR) o el 80% de la potencia de la unidad de combustión de fueloil. Dicho límite debería ajustarse al alza para caudales de agua de lavado inferiores por MWh, y viceversa, de conformidad con el cuadro que figura a continuación.

Caudal (t/MWh)	Límite de la concentración de la descarga (µg/L de PAH _{phe} equivalente)	Tecnología de medición
0 – 1	2 250	Luz ultravioleta
2,5	900	Luz ultravioleta
5	450	Fluorescencia*
11,25	200	Fluorescencia
22,5	100	Fluorescencia
45	50	Fluorescencia
90	25	Fluorescencia

- Turbidez/partículas en suspensión

La turbidez del agua de lavado debería cumplir las siguientes prescripciones y el límite debería consignarse en el ETM-A o en el ETM-B.

El sistema de tratamiento del agua de lavado debería proyectarse para reducir al mínimo las partículas en suspensión, incluidos los metales pesados y las cenizas.

La turbidez continua máxima del agua de lavado no debería superar la turbidez del agua de admisión en más de 25 FNU (unidades nefelométricas de formacina) o 25 NTU (unidades nefelométricas de turbidez) u otras unidades equivalentes.

- Nitratos

El sistema de tratamiento del agua de lavado debería impedir la descarga de nitratos que no sea la vinculada a una eliminación del 12% de los NO_x de los gases de escape o la concentración normalizada de 60 mg/l para un índice de descarga del agua de lavado de 45 toneladas/MWh, si este valor es superior.

En cada reconocimiento de renovación se deberá disponer de datos de descarga de nitratos en relación con la descarga de muestras extraídas de cada sistema LGE durante los tres meses previos al reconocimiento.

- Aditivos y otras sustancias en el agua de lavado

En el caso de tecnologías LGE que utilizan sustancias activas o preparadas, o que producen sustancias químicas pertinentes in situ, se ha de efectuar una evaluación del agua de lavado. Esta evaluación podría tener en cuenta las directrices pertinentes, como la resolución MEPC. 126 (53) “*Procedimiento para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre en los que se utilicen sustancias activas (D9)*”, y, de ser necesario, deberían definirse otros criterios para la descarga del agua de lavado.

3.1.2.4. NORMATIVA EUROPEA

En cuanto a la Normativa de la Unión Europea, la Directiva 1999/32/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa a la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos, fija el contenido máximo autorizado de azufre del fuelóleo pesado, del gasóleo, del gasóleo para uso marítimo y del combustible diesel para uso marítimo utilizados en la Unión.

El cumplimiento de unos límites bajos respecto al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo, especialmente en las zonas SECA, podría traducirse en un aumento significativo del precio de dichos combustibles, al menos a corto plazo, y repercutir negativamente en la competitividad del transporte marítimo de corta distancia frente a otros modos de transporte, así como en la competitividad de las empresas del sector en países limítrofes de esas zonas. Se requieren, por tanto, soluciones adecuadas para reducir los costes de cumplimiento de los sectores afectados, por ejemplo permitiendo otros métodos de cumplimiento más rentables que los basados en los combustibles.

Es importante limitar el cambio modal del transporte marítimo al transporte por carretera, dado que una proporción cada vez mayor de mercancías transportadas por carretera supondría una contradicción, en muchos casos, con los objetivos de la Unión relativos al cambio climático de la Unión y aumentaría la congestión, además de repercutir negativamente en la competitividad de las empresas. Por ello, la Comisión debe utilizar instrumentos como **Marco Polo**⁶ y la red transeuropea de transporte para prestar una asistencia específica de forma que se minimice el riesgo de cambio de modal, además de facilitar el acceso a los métodos alternativos de reducción de emisiones.

Estos métodos deberían dar lugar a reducciones de las emisiones equivalentes o superiores, a las que se obtienen utilizando combustible con bajo contenido de azufre, siempre que no tengan repercusiones negativas importantes en el medio ambiente, como los ecosistemas marinos, y se hayan puesto a punto con arreglo a unos mecanismos de aprobación y control adecuados. Así que, es importante promover el ensayo y desarrollo de nuevas tecnologías de reducción de emisiones como por ejemplo, los conocidos sistemas embarcados de depuración de gases de escape, la mezcla de combustible para uso marítimo y gas natural licuado (GNL) o el uso de biocombustibles o estableciendo programas conjuntos con otras industrias que se basan en programas similares, como es el programa **“Clean Sky”**⁷. La Comisión seguirá desarrollando las medidas definidas en el documento de trabajo de 16 de septiembre de 2011 *“Pollutant emission reduction from maritime transport and the sustainable waterborne transport toolbox” – Reducción de las emisiones de contaminantes procedentes del transporte marítimo y herramientas para un transporte sostenible por vía acuática.*

Por otro lado, los métodos alternativos de reducción de emisiones, como algunos tipos de depuradoras, pueden generar residuos que deben gestionarse adecuadamente y no verterse al mar. Los Estados miembros deben garantizar, en virtud de sus compromisos internacionales, la

⁶ **Marco Polo**: Proyecto de la Comisión Europea para promover el transporte de carga desde la carretera hacia el transporte marítimo, ferroviario y por aguas internas.

⁷ **Clean Sky**: Proyecto Europeo entre la Comisión Europea y la industria aeronáutica.

disponibilidad de instalaciones portuarias receptoras de desechos adecuadas, que permitan atender las necesidades de buques que utilicen sistemas de limpieza de gases de escape.

También es importante que se establezcan unas sanciones efectivas, proporcionadas y disuasorias para la aplicación de la Directiva 1999/32/CE. Los Estados miembros deben incluir en ellas multas calculadas de tal manera que se garantice que priven al menos a los responsables de los beneficios económicos derivados de su infracción y que dichas multas se aumenten gradualmente en caso de infracciones reiteradas.

La modificación de la Directiva de 1999/32/CE en cuanto a los distintos métodos de reducción de emisiones queda de la siguiente manera:

- Los Estados miembros permitirán a los buques de cualquier pabellón utilizar métodos de reducción de emisiones en sus puertos, aguas territoriales, zonas económicas exclusivas y zonas de control de la contaminación, como alternativa a la utilización de combustibles para uso marítimo que cumplan los requisitos de la Directiva y normativa Internacional.
- Los buques que utilicen estos métodos deberán conseguir de forma continua reducciones de las emisiones de dióxido de azufre que sean al menos equivalentes a las que se lograrían con el uso de combustibles para uso marítimo que cumplan con los requisitos. (Valores de emisión equivalentes determinados en el Anexo I – Directiva 2012/CE/32 – *Ver Apéndice 1*).

Para concluir, la presente Directiva Europea está basada en las normativas internacionales pero está a un nivel más limitado ya que reconoce únicamente el Plan B en cuanto a los métodos de reducción de emisiones mediante los sistemas de limpieza de gases de escape.

3.1.3. TECNOLOGÍAS SCRUBBER DISPONIBLES

Se conocen cuatro tecnologías disponibles para ser usadas y aplicadas comercialmente:

- 1) Scrubber con Agua Salada (agua de mar) o Scrubber de Circuito Abierto (HAMMWORTHY AND WÄRTSILÄ)
- 2) Scrubber con Agua Dulce o Scrubber de Circuito Cerrado (WÄRTSILÄ)
- 3) Scrubber con Tecnología Híbrida - Combinación de los dos anteriores) (Aalborg)
- 4) El sistema CSNOx – El sistema que no sólo se declina por los óxidos de azufre sino también por los óxidos de nitrógeno y CO₂.

3.1.3.1. SCRUBBER CON AGUA DE MAR – CIRCUITO ABIERTO

El sistema Scrubber con agua de mar está basado en las características naturales de alcalinidad del agua de mar, que se utiliza para neutralizar la acidez de los gases de escape. Además de la absorción de las moléculas de SO_x por el agua de mar, el agua después es descargada de vuelta al mar tras extraerse y almacenarse el lodo relevante del **scrubbing**. El lodo resultante debe ser almacenado a bordo y después se descarga finalmente en una unidad receptora en tierra.

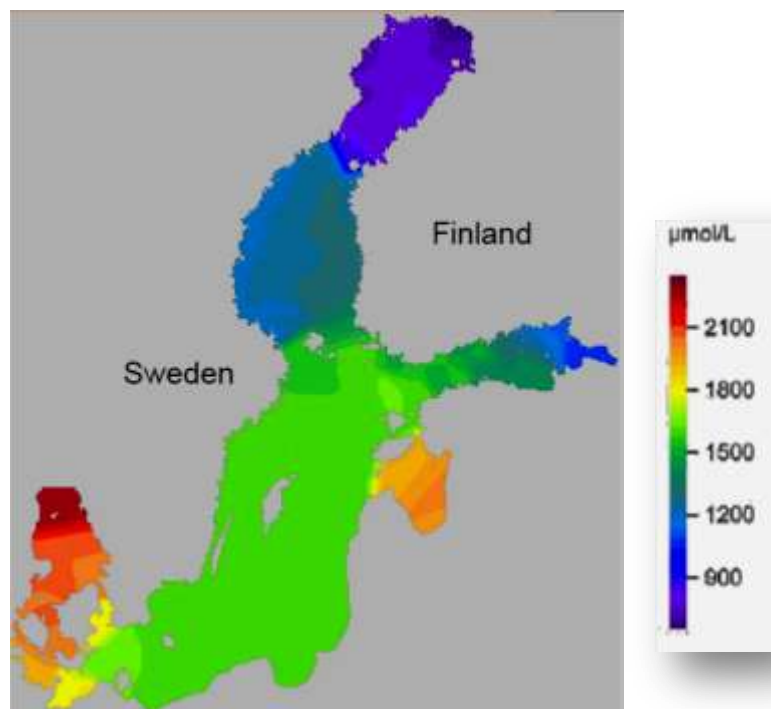


FIG. Valores de la Alcalinidad del Agua en el Mar Báltico (unidades: $\mu\text{mol/L}$).

Los valores típicos de la alcalinidad en aguas fuera del Mar Báltico son de 2200-2400 $\mu\text{mol/L}$ aproximadamente – Datos de 2001-2005. **Fuente: Wärtsilä Exhaust Gas Cleaning Solutions.**

Este sistema se adapta tanto a buques de nueva construcción como a instalaciones de retrofit. Se puede aplicar a todas las marcas de motores diesel y generadores de vapor con quema de combustible.

En cuanto al rendimiento de la reducción de emisiones, el scrubber con agua de mar demuestra ser muy eficaz. Las pruebas y ensayos realizados a bordo del buque ferry Pride of Kent y a bordo del buque crucero Zaandam indican un 99% de eficacia en la eliminación de los SOx y una retención de partículas de un 50 a 70% cuando utilizan HFO con un contenido en azufre del 3.5% en peso.

Para determinar el coste real e información de los precios de las instalaciones de scrubber de este tipo es bastante difícil por cuestiones de privacidad y confidencialidad, por ello se han tenido en consideración los datos aportados por algunos estudios que tratan el tema. Se conoce que el equipo para el monitoreo del sistema y las emisiones constituye una gran parte del coste total de la instalación, aunque este depende en gran medida del número de unidades que hay instaladas. Por tanto, en general el coste de una instalación también variará en función de la configuración escogida, del diseño del buque y del astillero encargado de realizar la instalación. Los precios presentados en la siguiente tabla son simplemente orientativos:

	Ferry (alrededor 40 MW)	Buque de Carga (Alrededor 20 MW)
Nueva Construcción	3 M €	2,1 M €
Retrofit	3,5 M €	2,4 M €

Tabla: Costes orientativos de la inversión en un sistema Scrubber de agua de mar

Además de los costes de la inversión, la operativa del buque con el funcionamiento de los scrubber incrementa el consumo de combustible. Comúnmente está estimado que la operación de los scrubber aumenta en general el consumo del combustible de alrededor 1-3%.

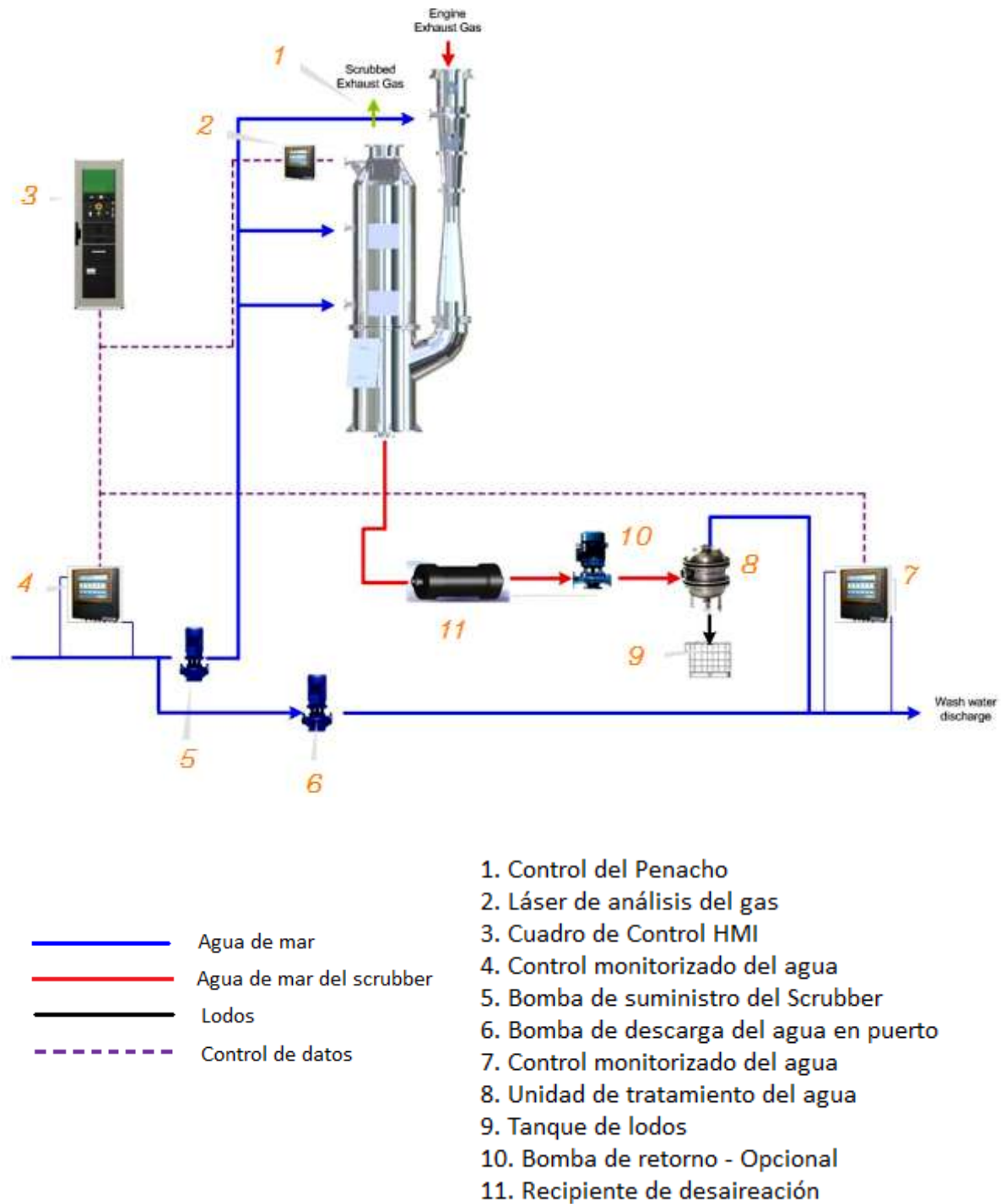


FIG. Configuración del Sistema de Scrubber con Agua de Mar – Sistema con Circuito Abierto

3.1.3.2. SCRUBBER CON AGUA DULCE – CIRCUITO CERRADO

Los scrubber con agua dulce requiere la adición de soda cáustica (NaOH) para reaccionar con y absorber las emisiones de azufre de los gases. Su principal beneficio es la posibilidad de utilizar este sistema en zona de mar donde la alcalinidad del agua de mar no es suficiente para realizar la reacción con productos sulfúricos.

Al igual que con los sistemas Scrubber con agua de mar, el lodo resultante debe almacenarse a bordo del buque hasta ser descargado en la planta de recepción correspondiente en tierra.

El sistema scrubber con agua dulce se puede aplicar a todos los tipos y marcas de motores diesel y generadores de combustible, tanto para instalaciones nuevas como de retrofit.

El rendimiento del sistema ha sido comprobado durante pruebas y ensayos en varias instalaciones y se garantiza una reducción del SOx del 97.15%, ofreciendo a los buques las emisiones de óxidos de azufre equivalentes a las de los combustibles con contenido del 0.1% de azufre cuando se usan combustibles de contenido del 3.5% en azufre. Por otra parte, la reducción de las emisiones de NOx es aproximadamente del 3 al 7% y la reducción de las Partículas desde el 30 al 60%.

En la siguiente tabla se muestran los costes aproximados de un sistema marino con Scrubber con agua dulce de circuito cerrado:

	Ferry (alrededor 40 MW)	Buque de Carga (Alrededor 20 MW)
Nueva Construcción	Alrededor de 2.4 M €	Alrededor de 1,9 M €
Retrofit	Alrededor de 3,4 M €	Alrededor de 2,4 M €

Tabla: Costes indicativos de la inversión de un sistema scrubber con agua dulce

Las conclusiones finales del informe del fabricante Wärtsilä sobre el proyecto de la instalación de un sistema scrubber con agua dulce para el buque M/T Suula, que fue sometido a pruebas y ensayos durante dos años se explican a continuación y como adelanto a la conclusión es que el sistema está listo para ser comercializado.

Principio de funcionamiento

Se basa en un proceso químico en el que el ácido es neutralizado usando un químico alcalino. En el scrubber, los óxidos de azufre de los gases de escape se eliminan con el agua de limpieza que contiene hidróxido de sodio. Como resultado se forman compuestos químicos de azufre – sulfatos – a partir de los gases de escape.

Estos productos neutralizados son descargados al mar a través del proceso de tratamiento del agua. La adición de los compuestos de azufre resultantes al agua de mar no es un problema medioambiental ya que el agua de mar contiene unas 10^{15} (1,000,000,000,000,000) toneladas de azufre en forma de sulfatos. Cuando el scrubber está en uso, el efluente sucio no se

descarga al mar, sino que todas las impurezas se recogen en las unidades de tratamiento de los efluentes, se bombean al tanque de lodos y se descargan al final en tierra.

El scrubber consume agua dulce técnica que se evapora en la atmósfera junto con los gases de escape. Esta evaporación se minimiza con el uso del enfriador de agua del scrubber.

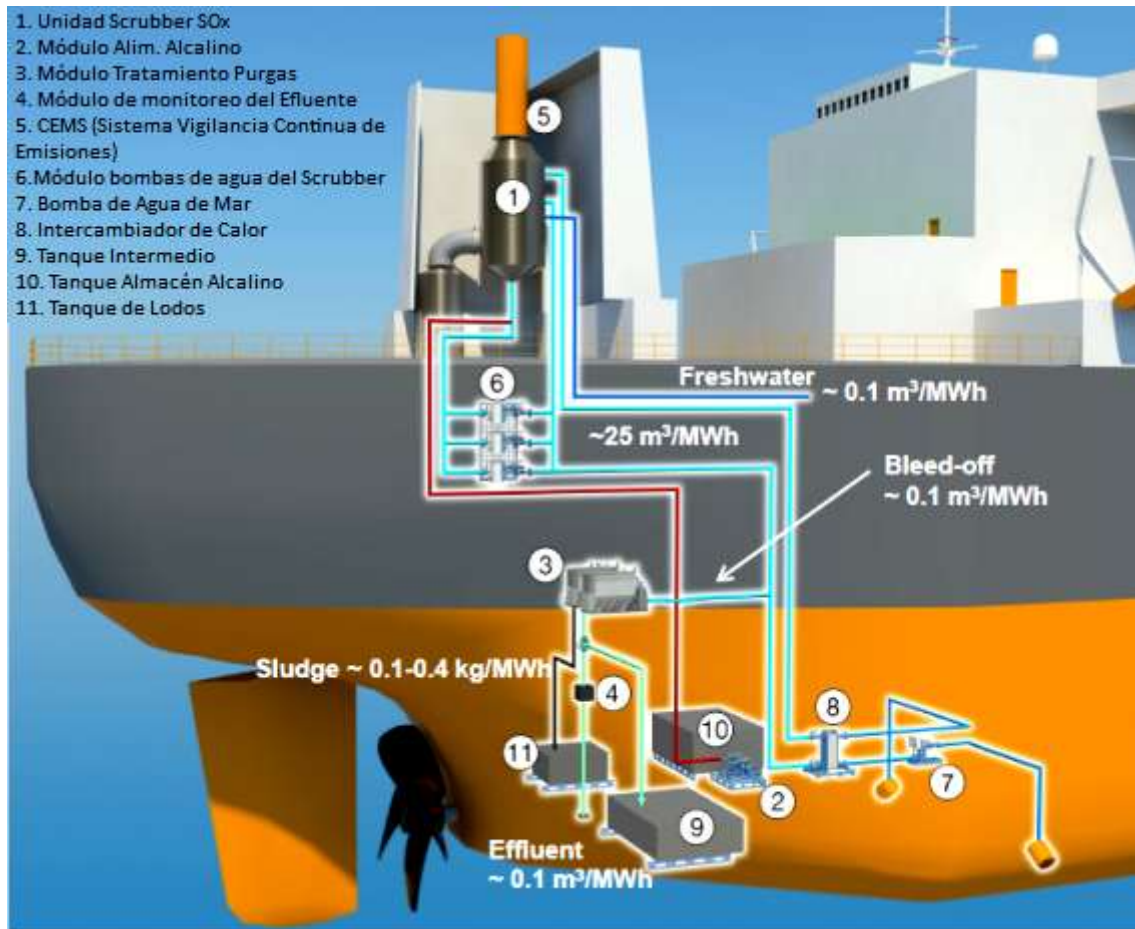


FIG. Esquema de la Instalación del Sistema Scrubber de Agua Dulce en un buque

3.1.3.3. SCRUBBER CON TECNOLOGÍA HÍBRIDA (Combinación de los dos sistemas)

Esta tecnología está basada en la combinación de los dos sistemas descritos anteriormente, con la versatilidad de permitir un cambio flexible entre la utilización de agua de mar y agua dulce.

Este sistema fue instalado en Julio de 2009 en el buque *Tor Ficaria* con una potencia de los motores principales de 21 MW, para ponerlo en prueba y eliminar las emisiones de SOx de los gases de escape. El fabricante de este sistema es Aalborg y confirma tras la realización de las pruebas que la eficacia de limpieza de las emisiones de SOx es del 98-100% y para las partículas del 80%. Así como también, confirma que el sistema cumple con las normativas aplicables y está listo para comercializarse (desde el 2011 en el mercado).

En la siguiente tabla se muestran los costes para los armadores, para un sistema scrubber híbrido marino. Este coste estimado incluye la gestión del proyecto, la documentación, los componentes del sistema y su instalación.

	Ferry Crucero (alrededor 40 MW)	Buque de Carga (Alrededor 20 MW)
Nueva Construcción	Alrededor de 3.8 M €	Alrededor de 2.6 M €
Retrofit	Alrededor de 4.3 M €	Alrededor de 3.0 M €

Tabla. Inversión orientativa de los costes de un sistema Scrubber Híbrido.

3.1.3.4. EL SISTEMA CSNO_x

El sistema que no sólo se declina por los óxidos de azufre sino también por los óxidos de nitrógeno y CO₂. Este sistema ha sido desarrollado por Ecospec, con sede en Singapur, y enfoca la eliminación y/o reducción de tres contaminantes distintos: SO_x, NO_x y CO₂).

La información sobre los costes y del funcionamiento del sistema es escasa pero se conoce que se basa en el uso de agua de mar que pasa por varias etapas. Primero, el agua es enriquecida para eliminar el SO₂ y a través de frecuencia ultrabaja se acondiciona para mejorar la capacidad de absorción del agua. El valor del pH del agua se incrementa y finalmente el agua de mar tratado se bombea en el interior de la torre para eliminar el CO₂ y el NO_x.

Este sistema ha sido probado por primera vez en un buque tanque Aframax, y la Sociedad de Clasificación American Bureau of Shipping certificó que se consigue eliminar las emisiones al 99% de SO₂, el 77% de CO₂ y el 66% de NO_x, así como que la calidad del agua utilizada para el lavado cumple todos los requisitos de la OMI.

En junio de 2010, la empresa hizo un acuerdo de colaboración con Royal Caribbean Cruise Lines, que implicó la instalación de prueba de este sistema en su buque *Independance of the Seas* en 2011.

3.2. USO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

1. GAS NATURAL LICUADO – GNL

- 1.1. Descripción**
- 1.2. Disponibilidad**
- 1.3. Precios**

2. BIOCOMBUSTIBLES

- 2.1. Disponibilidad**
- 2.2. Tipos**
- 2.3. Compatibilidad**

3.2.1. BIOCOMBUSTIBLES

El biocombustible, desde el punto de vista de su formación, se define como un combustible cuya energía es obtenida a partir de un proceso biológico de fijación del carbono. Se entiende por fijación biológica del carbono al proceso que convierte al carbono inorgánico (en forma de CO₂, por ejemplo) en componentes orgánicos. En otras palabras, cualquier proceso que convierte dióxido de carbono en una molécula que se encontraría en un organismo es una fijación del carbono. Si este proceso ocurre en un organismo vivo, se relaciona con una “fijación biológica del carbono”.

La fijación de carbono puede dejar un gran número de componentes, como proteínas, grasas y alcoholes. Por tanto, si cualquiera de estas moléculas se puede usar para proporcionar energía en un marco mecánico, se le llama combustible.

En cuanto a su definición técnica, el biocombustible es un hidrocarburo que está hecho de, o a partir de organismos vivos. En la práctica, cualquier combustible hidrocarbonado que es producido a partir de materia orgánica en un corto periodo de tiempo (días, semanas o incluso meses) es considerado como biocombustible. Esto contrasta con los combustibles fósiles, que necesitan millones de años para formarse y también con otros tipos de combustible que no están basados en hidrocarburos (fisión nuclear, por ejemplo).

Lo que diferencia a los biocombustibles de los fósiles es que no tienen que ser formados necesariamente por organismos vivos, aunque pueden serlo. Los biocombustibles pueden ser creados por reacciones químicas, llevadas a cabo en laboratorios o industrias, que usan materia orgánica (llamada biomasa). El único requisito real para crear biocombustible es la materia de inicio, que debe ser CO₂ que ha sido fijado (convertido en otra molécula) por un organismo vivo y el producto de combustible final debe ser producido rápido y no durante millones de años.

3.2.1.1. ORIGEN

Antes de que el calentamiento global relacionado con la quema de combustibles fósiles se convirtiera en un factor importante en la determinación de la procedencia de la energía, la principal preocupación era que los combustibles fósiles que se consideran limitados, se acabarían en los próximos años. Se tenía pensado que si se podrían producir hidrocarburos de otra manera, y rápidamente, entonces se seguiría cumpliendo con la demanda de energía sin demasiados problemas. Esto se traduce en uno de los principales factores diferenciales entre combustibles fósiles y biocombustibles o la renovación del combustible.

Es importante remarcar que la energía renovable no es lo mismo que energía verde. La energía verde es aquella que es adecuada para el planeta porque no daña los ecosistemas, no contribuye a la lluvia ácida o empeora el calentamiento global. La energía solar es energía verde. Toda energía verde es considerada renovable, pero no toda energía renovable es considerada verde. Los biocombustibles son ejemplos de fuentes de energía renovable, pero no son siempre energías verdes porque producen gases de efecto invernadero.

3.2.1.2. TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES

A partir de una amplia variedad de biomasa cruda es posible producir muchos tipos diferentes de biocombustibles, y por tanto con propiedades físicas y de combustión muy diferentes. Las tecnologías de conversión de los biocombustibles a lo largo de la cadena de suministro son muy diversas y numerosas como se puede ver en la siguiente figura donde se muestran las cadenas de producción actuales y futuras más importantes para dirigir los productos ante la amplia variedad de aplicaciones o suministros, diferentes tamaños de plantas o para adaptarse a distintas situaciones locales (suministros, productos, etc.). Aunque se diferencian las siguientes dos rutas bien establecidas para la producción de biocombustibles:

- La extracción de aceites vegetales, en su mayoría, seguida de la transesterificación.
- La fermentación del azúcar o almidón de alcohol.

Aunque a parte de las vías de producción tradicionales, se están desarrollando otras muchas vías de nuevas tecnologías con promesas de mejorar las emisiones de gases de efecto invernadero o la calidad del combustible, productos de mayor rendimiento o producciones más baratas. Los ejemplos de estas nuevas tecnologías son:

- Procesos termoquímicos vía gasificación
- Hidrotratamientos o modernización del tratamiento hidrotermal.
- Procesos biológicos avanzados incluyendo la hidrólisis y la fermentación.

La producción de biocombustibles por vías tecnológicas avanzadas y sobre todo los biocombustibles producidos de materia prima residual tienen una mayor posibilidad de cumplir con el umbral de los gases de efecto invernadero o pueden contar el doble para los objetivos propuesto por la Comisión Europea sobre las energías renovables en el transporte.

En realidad el rendimiento de los productos depende de la cadena de la materia prima y de la oferta, así como cada cadena individual debería analizarse por separado.

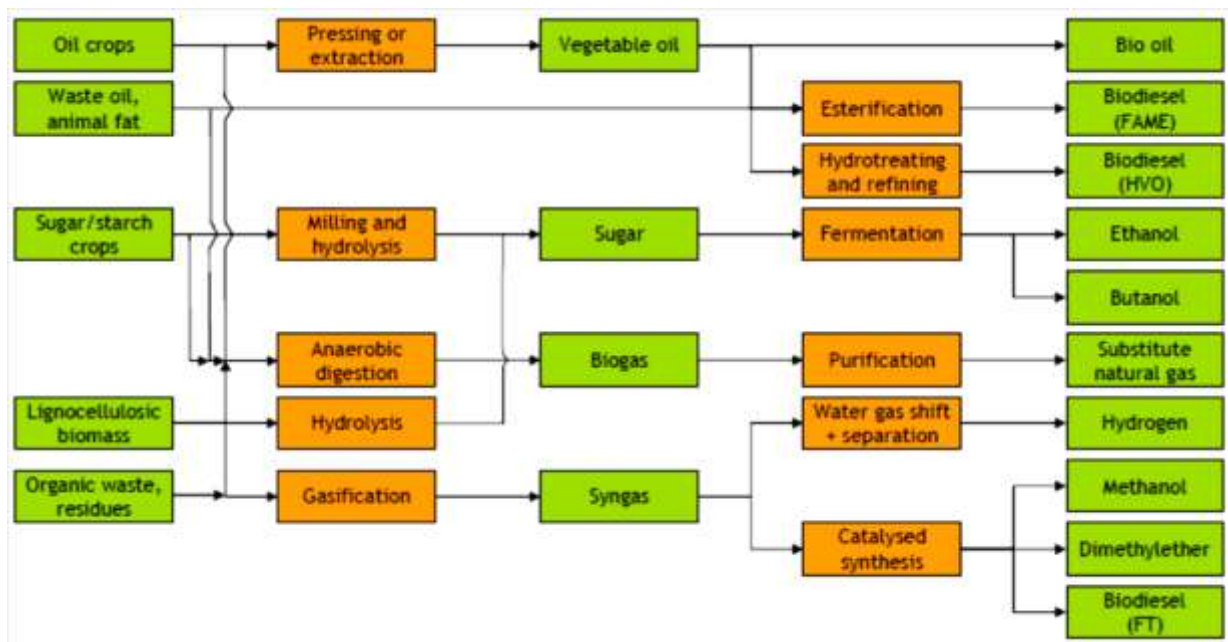


Fig. Esquema general de las vías de conversión de los biocombustibles.

Las definiciones de los recursos biológicos que se presentan en la imagen de arriba, son las siguientes:

- **Cultivos oleaginosos:** Son principalmente los cultivos agrícolas que contienen aceite de semillas u otra materia vegetal, que se pueden extraer a través de métodos de prensado u otro. Los ejemplos más comunes son los aceites de palma, colza y soja. Otra fuente de biomasa para cultivos oleaginosos podría ser la biomasa acuática, tal como los micro-algas. Hay muchas especies de algas que muestran una tendencia de alta producción de lípidos. El cultivo y la conversión de las algas en petróleo se encuentra todavía en las fases de inicio del desarrollo.
- **Cultivos de Azúcar/Amidón:** Son los cultivos agrícolas comunes que contienen azúcar o almidón como la caña de azúcar, la remolacha azucarera, el trigo y el maíz.
- **Biomasa lignocelulósica:** Se trata de los cultivos energéticos leñosos o herbáceos, tal como madera, bambú y paja.
- **Desechos de residuos orgánicos:** Se hace una distinción entre los residuos primarios, secundarios y terciarios, dependiendo de la posición que tienen en la cadena de suministro / conversión.

Los residuos primarios se crean en la zona de cultivo de modo que se trata de residuos agrícolas de las tierras y residuos leñosos de los bosques. Los residuos secundarios se crean en los primeros pasos de la conversión. Los residuos terciarios se crean en el nivel de consumo, por lo que son los residuos de alimentos de los hogares y restaurantes, incluida la grasa animal, y artículos usados, como los residuos de papel, muebles antiguos de madera.

Los tipos de biocombustibles varían según la producción y la biomasa de procedencia. Los más comunes son los siguientes:

- **Biodiesel**

El término biodiesel normalmente indica metil-ésteres producidos a partir de aceites bio. Por cada tonelada de aceite bio, se puede producir alrededor de una tonelada de biodiesel. Además, se requiere de alrededor de 0,1 toneladas de metanol para la reacción y se obtiene también 0,1 toneladas de glicerina.

Las materias primas más utilizadas en la actualizada son la colza/aceite de colza, aceite de palma, soja y aceite de soja, aceite de cocina usado y la grasa animal. La Unión Europea es el mayor productor de biodiesel y utiliza todas estas materias primas para su obtención. Inicialmente, la colza representó la mayor parte de la materia prima destinada a la producción de biodiesel, porque el combustible obtenido a partir de ella era el que mejor se adaptaba a los parámetros físicos y especificaciones del diesel fósil. Pero a lo largo de los años, la utilización de otras materias primas se ha incrementado, debido a que la normativa sobre la calidad del biodiesel se ha vuelto menos estricta y algo menos importante, ya que la calidad de la mezcla resultante con el diesel lidera entre los demás combustibles.

- **Aceite vegetal o aceite vegetal puro**

El aceite vegetal que se utiliza para la producción del biodiesel también puede ser utilizado directamente en motores, con pequeñas modificaciones, aunque la mayoría de los motores de automóviles diesel, en este caso, son adecuados para el uso de aceite vegetal.

La viscosidad del combustible de aceite vegetal debe reducirse mediante precalentamiento previamente, a través de un sistema de combustible dual, en el que el automóvil pone primero en marcha el sistema de diesel normal y después de un corto periodo de tiempo cambia a la utilización del combustible de aceite vegetal.

Con temperaturas ambiente cálidas, la viscosidad se reduce naturalmente, y por ello en algunos países tropicales, se utilizan los combustibles de aceite vegetal sin ninguna otra modificación en el motor.

También es posible utilizar como combustible otros aceites bio, tales como la grasa animal y aceite de cocina usado, pasando por un tratamiento de limpieza previamente.

- **Aceite vegetal hidro tratado**

Los nuevos desarrollos producen diesel a partir de aceites vegetales que son completamente intercambiables con combustibles diesel de procedencia fósil. Estos combustibles son

tipificados como combustibles “*drop-in*”⁸, que quiere decir que se podrían utilizar en cualquier mezcla con el combustible fósil o incluso como combustible puro, sin que el usuario notara ninguna diferencia.

Varias compañías ya han desarrollado la producción de aceite vegetal tratado con hidrógeno, en el que se utiliza un catalizador especial para ello. Para aplicaciones en combustibles de carretera, los combustibles a partir de aceite vegetal son mezclados con diesel fósil.

- **Diesel Fischer-Tropsch (FT)**

El Diesel Fischer-Tropsch derivado de la biomasa mediante gasificación podría ser un combustible limpio y neutro de carbono para el transporte. El Diesel FT podría ser producido a partir de biomasa lignocelulósica (biomasa leñosa) en la que toda la materia prima completa podría ser utilizada para esta producción. Primero la materia prima se gasifica para producir gas de síntesis (monóxido de carbono e hidrógeno principalmente, CO + H₂) y luego se hace reaccionar con un catalizador especial para producir cadenas de carbono de longitud variable.

Cuando el diesel FT es producido a partir de biomasa se supone que la materia prima es muy barata y por tanto se utilizaría como ventaja para los costos generales de producción, así como el uso de lignocelulosa (residuos) podría ser ventajoso para el rendimiento del medio ambiente. Sin embargo, la comercialización de diesel FT biogénico parece estar en una etapa difícil, mientras que la tecnología está fuertemente ligada a la poca evolución tecnológica de la gasificación de biomasa. Además, la inversión requerida para las plantas de gasificación de biomasa para FT es muy alta en relación con otras tecnologías de producción de biocombustibles.

- **Bioaceite de pirolisis**

El aceite de pirolisis es un aceite crudo sintético. El proceso de pirolisis consiste en calentar en ausencia de oxígeno. Hay varias variaciones en el proceso de pirolisis produciendo diferentes combinaciones de gases, bioaceite y carbón de leña.

El aceite de pirolisis se puede almacenar, bombear y transportar como productos derivados del petróleo y se puede quemar directamente en calderas, turbinas de gas y motores diesel lentos y de media velocidad. El aceite de pirolisis se dice que puede sustituir el combustible pesado (HFO), el combustible ligero (LFO) o el gas natural en una serie de aplicaciones. Esto sugiere que el uso de aceite de pirolisis en el transporte marítimo es posible.

⁸ **Combustible “Drop-In”:** Combustibles desarrollados que cumplen con las especificaciones de calidad de los demás combustibles como la gasolina, el diesel, etc. y que están listos para ser utilizados en la infraestructura ya existente por ser indistinguibles químicamente con los combustibles derivados del petróleo. Esto reduce al mínimo los problemas de compatibilidad de infraestructura que son un obstáculo para la comercialización de los biocombustibles como el etanol y el biodiesel.

- **Bio-etanol**

El bioetanol actualmente es el combustible más utilizado a nivel mundial. La producción actual de bioetanol comercial se basa en la fermentación de azúcar o almidón. En Europa el trigo y la remolacha azucarera son la principal materia prima, mientras que en los EE.UU es más popular el maíz y en los países tropicales se basa en gran medida en la caña de azúcar.

El rendimiento teórico máximo del etanol a partir de 1 kg de azúcar es de 0.51 kg de bioetanol y 0.49 kg de CO₂:



Teniendo en cuenta que la emisión de este CO₂ no aumenta la cantidad de CO₂ en la atmósfera debida a que fue capturado de la atmósfera para el crecimiento de la cosecha. Sin embargo, hay un cierto interés en la captura de este CO₂ para su almacenamiento o uso posterior.

El etanol también puede ser producido a partir de biomasa lignocelulósica, como la madera y la hierba. Este proceso tiene algunas ventajas en cuanto a los costes (materia prima más barata) y en cuanto al rendimiento por hectárea, con efectos negativos hacia los aspectos ambientales, tales como el equilibrio global de gases de efecto invernadero y la biodiversidad. Hasta el momento la producción mundial de etanol lignocelulósico es aún baja, pero el número de iniciativas de investigación y desarrollo es bastante grande.

El bioetanol tiene algunos inconvenientes técnicos y logísticos. Se aumenta la presión de vapor, lo que significa que la gasolina con la que se mezcla, debe ser adaptada a ello antes de este proceso. Por otra parte, atrae al agua lo que significa que deben tomarse medidas adicionales en su transporte y almacenamiento.

- **Metil tert-butil éter (ETBE)**

Una parte del etanol en Europa se aplica en forma de acetato de butilo terc-éter (ETBE). El ETBE se produce a partir de etanol por reacción de isobutileno con un derivado de aceite fósil. Esto significa que el ETBE no es considerado como un biocombustible al 100%. Pero la Directiva de Energías Renovables establece que el 37% del contenido energético del ETBE puede ser considerado como bionenergía.

- **Metanol**

El metanol es un producto químico a granel que se utiliza para diferentes procesos, así como también como combustible. Se puede utilizar como aditivo de oxígeno en la gasolina en

fracciones más elevadas en los motores adaptados tales como vehículos de **flexi-fuel**⁹ y también como un combustible limpio en pilas de combustible.

El bio-metanol puede ser producido a partir de biomasa mediante gasificación, análogo al proceso de Fischer-Tropsch. Pero la producción mundial de biometanol todavía está limitada a una instalación en los Países Bajos, que utiliza glicerina cruda (de la producción de biodiesel) como materia prima. Una vez más, el factor limitante de la gasificación de la biomasa es el desarrollo tecnológico y la disponibilidad comercial.

- **Di-metil éter (DME)**

El di-metil éter (DME) actualmente está en estudio como un combustible alternativo al diesel y GLP. La principal ventaja de este combustible es su poder calorífico apreciable y una combustión muy limpia. El DME se produce a partir de metanol, o directamente del gas de síntesis después de la gasificación, siendo todavía una producción en etapas de desarrollo. El DME es posible usarse como combustible marino y tienen varias ventajas técnicas pero la capacidad de producción actual es pequeña y la infraestructura es insuficiente. En un estudio realizado por la compañía Haldor Topsøe¹⁰ se propone almacenar a bordo alcohol y obtener a bordo DME a partir de él (*OBATE – On Board Alcohol To Ether*). De esta manera, las ventajas de un combustible se combinan con las ventajas del otro combustible obtenido. Con la misma tecnología es también posible obtener a bordo la conversión de etanol a DEE (Dietil éter).

- **Biometano**

El biometano puede ser producido desde la biomasa por medio de fermentación, digestión anaeróbica o por medio de gasificación. El biogás producido contiene normalmente entre el 45% y el 75% de metano y tiene que ser limpiado, mejorado y presurizado con el fin de ser utilizado eficientemente como combustible. La distribución del biogás es posible mediante las vías naturales de distribución de gas, si se mejora la calidad de éste y sus especificaciones.

En condiciones ambientales, el biogás tiene un bajo poder calorífico. Por tanto, para utilizar el biogás con fines de propulsión, se tendrá que almacenar en forma líquida o de forma comprimida. El interés del uso del GNL como combustibles para el transporte marítimo abre la posibilidad de usar biogás en este sector. Mientras que el GNL es un combustible fósil y no contribuye demasiado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, por otro lado el bio-metano o bio-GNL es una buena alternativa para ello.

⁹ **Motores Flexi-fuel:** Motores de combustión interna que tienen la capacidad de utilizar los combustibles mezclados en un mismo depósito de combustible. El motor de estas características que más predomina en el mercado es el de gasolina y etanol.

¹⁰ **Presentación de P.E. Højlund Nielsen de la Compañía Haldor Topsøe:** *OBATE: An upgraded alcohol fuel for efficient & clean Diesel engine application*, Marine Days, Göteborg, April 5th 2011.

Como conclusión, hay muchos tipos de biocombustibles en diferentes etapas de desarrollo tecnológico. La evolución histórica de estos junto con las tendencias actuales muestra el potencial tecnológico de los biocombustibles que aún está por ser explotado y su sostenibilidad para el futuro de la navegación.

3.2.1.3. INCONVENIENTES DEL USO DE BIOCOMBUSTIBLES EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO

La Organización Internacional de Estandarización (ISO) lista 19 combustibles marinos diferentes que cumplen con los requisitos de los combustibles marinos suministrados a bordo de los buques. Dentro de estos 19 tipos de combustibles, los 4 combustibles marinos más importantes son: IFO 180, IFO380, MDO (Marine Diesel Oil) y MGO (Marine Gas Oil). Estos combustibles corresponden a los grados ISO RME25, RMG35, DMB y DMA respectivamente como se especifica en la normativa ISO 8217:2005.

El uso de biocombustibles en motores marinos es bastante limitado, pero es usado más ampliamente en motores diseñados para ello para el transporte terrestre y en las plantas eléctricas. La versatilidad de los motores diesel permite el uso de una amplia variedad de combustibles. De hecho, Rudolf Diesel, el inventor del motor diesel en realidad hizo funcionar el primer motor diesel usando como combustible el aceite de cacahuates.

Aunque los motores diesel de hoy en día son significativamente diferentes a los primeros motores, los biocombustibles se pueden utilizar tanto en los motores como en las turbinas de gas.

El consumo mundial de biocombustible está creciendo poco a poco, creando nuevos mercados y oportunidades, y en el transporte marítimo global se ha considerado el uso de este combustible como un potencial en el mercado. Sobre todo, la generación de energía verde está muy desarrollada en algunas zonas de la UE, en particular en el norte de Europa, donde el uso de biocombustibles tiene una mayor producción. De esta manera, algunos fabricantes de motores como MAN y Wärtsilä crean diseños de motores para usar con biocombustibles, son motores de alta y media velocidad que también pueden ser aplicados a buques.

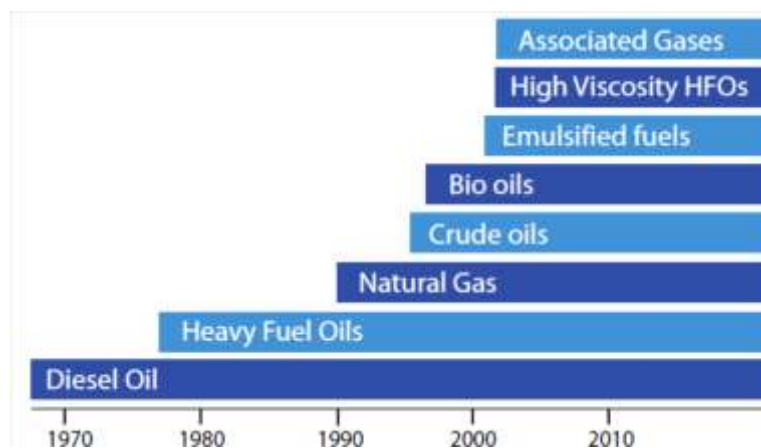


Fig. Versatilidad de los combustibles de los motores WÄRTSILA
[Fuente: Informe Juoperi et al. 2007].

A pesar de que los biocombustibles tengan aplicaciones en los motores marinos, pueden surgir ciertos problemas relacionados con su uso como se verá a continuación.

- **Motores**

Los motores diesel diseñados para combustibles pesados también pueden funcionar con combustibles vegetales sin problemas, pero los motores diseñados para operar con diesel marino o gasóleo pueden tener problemas al usar este otro tipo de combustible debido a la alta densidad y viscosidad de los combustibles vegetales. Por tanto, una alternativa para estos motores sería el biodiesel.

En el informe de Wärtsilä (Juoperi 2007) se evalúan cuáles pueden ser los problemas más significativos cuando se utilizan los biocombustibles en motores de velocidad media: cavitación en las bombas de inyección, bloqueo en las tuberías de fuel, material escogido para las juntas de goma, etc.

- **Cavitación en las bombas de inyección**

La cavitación en las bombas de inyección es uno de los principales problemas cuando se utilizan combustibles vegetales. Este problema surge principalmente por el incremento de temperatura del combustible, que disminuye la viscosidad y el combustible comienza a hervir localmente en los materiales.

La cavitación en la mayoría de casos, es un problema bastante aislado, pero en el fondo es más debido al hecho de que las plantas de energía funcionan siempre a la misma carga, mientras que los motores marinos funcionan más a diferentes cargas, debido a la velocidad de giro del eje.

El problema de la cavitación puede resolverse usando bombas fabricadas con materiales resistentes a este tipo de cavitación. También ambos flujos de entrada como de salida deben regularse mediante la restricción del flujo de salida en función de la entrada a la bomba.

- **Bloqueo de las líneas de combustible del circuito**

La temperatura es un parámetro clave cuando se trata del funcionamiento de los motores con biocombustibles para asegurar la viscosidad adecuada. Es necesario que se regule la temperatura ya que si es muy alta localmente en la línea de retorno del combustible, las propiedades del combustible cambiarían y se polimerizaría haciéndose un combustible más espeso como si fuera plástico.

La mejor manera de evitar este problema es asegurar que las líneas de fugas/tuberías de combustible tengan:

- Un correcto calentamiento y refrigeración para evitar tapones de cera/polimerización.
- Aumento de la capacidad de drenaje para que el biocombustible se escape de forma más fácil.
- Aumentar su tamaño para hacer frente a un aumento del flujo

- **Corrosión de los componentes**

La acidez de los biocombustibles líquidos está subrayada como un gran problema para los motores diesel que funcionan con biocombustible. Wärtsilä tiene un valor límite total para el número de acidez (TAN) de 5 mgKOH/g mientras que MAN especifica un valor límite TAN del 4 mgKOH/g. Normalmente los problemas de corrosión y cavitación aparecen después de 48 horas de funcionamiento con biocombustibles de alto número TAN.

- **Juntas de goma**

Como la acidez en los biocombustibles es mayor que en los combustibles pesados y diesel marino (HFO y MDO), la carga en los sellos se incrementa. Por ello es necesario adoptar distintas soluciones para evitar que se desgasten los sellos.

Otro problema que hay para ciertos componentes de goma y elastómeros es que el biocombustible actúa como disolvente y por tanto, se tienden a debilitar y degradar estos componentes. Estos asuntos se podrían resolver cambiando dichos componentes del sistema por juntas que sean resistentes a este tipo de combustibles. Además, los nuevos modelos de motores suelen ser compatibles ya con el biodiesel aunque es necesario consultar con el fabricante antes de la utilización de estos combustibles.

- **Sistema de Combustible**

Un problema bastante importante son las propiedades de los biocombustibles durante el invierno, ya que tienen un peor comportamiento que los combustibles del petróleo debido a que han sido procesados en su producción para tener una viscosidad más baja que los combustibles vegetales. De todas formas, la viscosidad varía en función del contenido de esteroides que contiene el combustible, que a su vez depende de la materia prima utilizada para obtenerse. Por ello es muy importante la comprobación de la viscosidad para los parámetros de diseño de muchos de los componentes de los sistemas del buque, sobre todo las bombas de combustible y los inyectores.

El combustible pesado es un fluido muy viscoso, y por ello, cuando es utilizado se necesita un precalentamiento para reducir la viscosidad y poder circular por las bombas, depuradoras, etc.

El diseño de la bomba de combustible establece los límites máximos y mínimos de la viscosidad de estos combustibles, si la viscosidad es más baja que el límite de diseño, entonces el flujo de combustible que circulará por la bomba será mayor que la capacidad de ésta.

Los combustibles pesados más importantes, IFO 180 e IFO 380 tienen la viscosidad de 180 y 380 cSt respectivamente, a 50° C mientras que el MDO generalmente tiene el rango del 1 a 10 cSt a 40° C.

▪ Tanques de Almacén

Debido a que el combustible es corrosivo, surgieron dudas de si los tanques podrían almacenar en buenas condiciones los biocombustibles.

Los tanques a prueba de ácidos normales demuestran que pueden ser utilizados para almacenar biodiesel sin mayores problemas. Sin embargo, al cambiar de un combustible pesado, los restos que pueden depositarse en los tanques de almacenamiento pueden causar obstrucción de los filtros y otros dispositivos.

Los tanques de almacenamiento a bordo del buque están regulados normalmente a la temperatura adecuada para cada tipo de combustible que almacenan. La temperatura del combustible pesado se debería mantener entre por lo menos 10 y 15° C por encima del cloud point¹¹.

Los biocombustibles se degradan más rápido que los combustibles diesel convencionales. La vejez y oxidación del biocombustible puede generar un aumento del valor del TAN, un incremento en la actividad corrosiva y la formación de sedimentos que pueden taponar filtros. Las altas temperaturas, la luz del sol y el oxígeno de la atmósfera aceleran el proceso de envejecimiento de los biocombustibles.

▪ Aspectos Generales

El biocombustible y el combustible pesado HFO (Heavy Fuel Oil) pueden ser usados en el mismo motor y cambiar entre ellos alternativamente sin suponer ningún problema respecto a dicho motor. El principal problema se puede encontrar en el sistema de combustible y en el sistema de almacenamiento. Los combustibles vegetales necesitan ser calentados a temperaturas distintas respecto a los HFO, por eso, los HFO y los biocombustibles necesitan instalaciones de almacenaje separados y diferentes procesos de pre-tratamientos.

¹¹ **Cloud Point de un fluido:** Se conoce por este nombre a la temperatura a la que los sólidos disueltos ya no son completamente solubles, precipitando como una segunda fase y dándole al fluido un aspecto nuboso.

3.2.1.4. MARCO LEGAL

Los gobiernos han desempeñado un papel importante en el fomento de la utilización de la bioenergía, ya que la mayoría de formas de bioenergía como un nuevo producto / una nueva tecnología, aún no son competitivas económicamente con los combustibles fósiles.

En los países de alrededor del mundo se están formulando objetivos para el uso de biocombustibles y muchos de ellos han puesto en marcha incentivos por su uso, por ejemplo reducción de impuestos especiales. En otros países, especialmente en África, se han instalado políticas para gestionar el desarrollo de proyectos de materias primas para biocombustibles a gran escala (por ejemplo, Mozambique, Ghana, Tanzania).

En la figura de más abajo se muestra una visión global de los países que han instalado mandatos respecto a este tipo de energía.

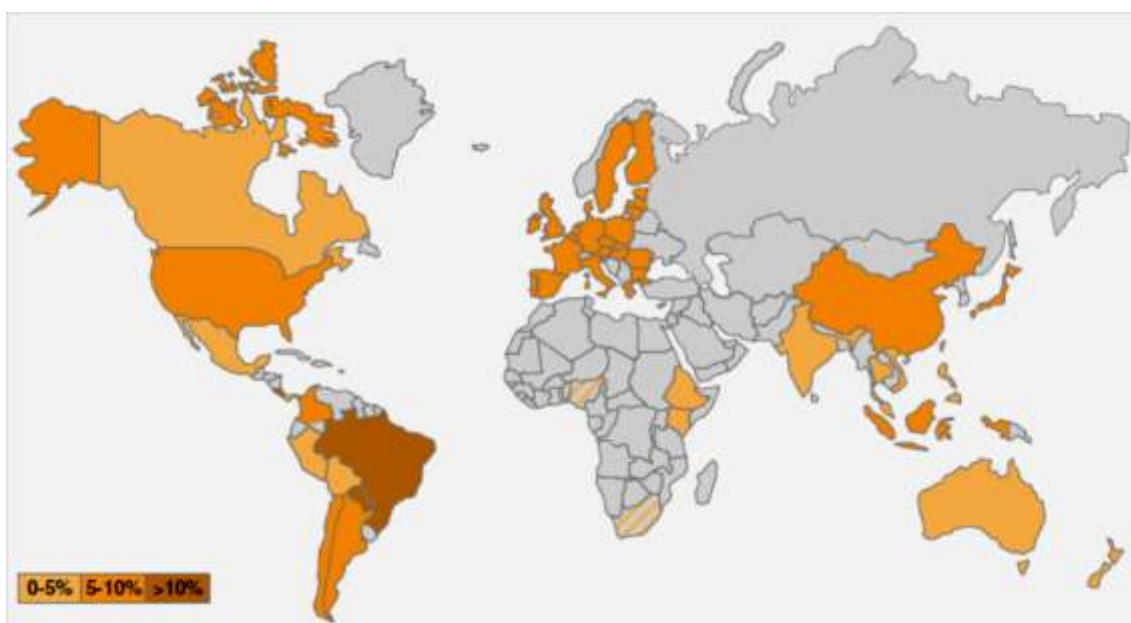


Fig. Políticas y mandatos sobre los biocombustibles a nivel global [Fuente: Recopilación de ECOFYS, 2011]

Se observa que el interés por el biocombustible se concentra en los mayores mercados de consumo de combustible (Países de UE, América del Norte, China) y en las regiones de producción de materias primas rentables (América del Sur, Asia sudoriental).

Desarrollo de la Política de Biocombustibles en Europa

Durante la década de 1990, la producción y el uso de combustibles alternativos de origen biogénico en el transporte por carretera se inició en varios países europeos y se expandió significativamente durante la siguiente década, siendo las primeras materias primas de conversión de los biocombustibles la colza y la producción de granos. En ese tiempo se inició la política a nivel europeo, desde el punto de vista de la seguridad de suministro de este combustible.

El Libro Blanco de 1997 – *La Energía para el futuro: Fuentes de Energía Renovables* – menciona un posible objetivo de 18Mtep¹² de biocombustibles líquidos para el año 2010, y el Libro Verde de 2000 – *Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético* – fue el comienzo para una política más completa, en la que los biocombustibles deben contribuir a un ambicioso objetivo propuesto de 20% de uso de combustibles alternativos (biocombustibles, gas natural, hidrógeno) para el año 2020.

Esta última política fue más detallada en la Directiva de 2003 – *Directiva en el Fomento del uso de Biocarburantes u Otros Combustibles Renovables para el Transporte*¹³.

Por último, en diciembre de 2008, los líderes de la Unión Europea llegaron a un acuerdo sobre la implementación del paquete “20/20/20 Energía y Cambio Climático” que incluye los siguientes objetivos:

- Reducir los gases de escape invernadero (GEI) en un 20% en 2020.
- Aumentar el uso de las energías renovables al 20% en 2020.
- Mejorar la eficiencia energética en un 20% en 2020.

Las energías renovables en el sector del transporte desempeñan un papel importante en la estrategia energética de la UE, ya que es el sector con mayor crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero. El paquete aprobado incluye dos directivas adicionales para los biocombustibles:

- La Directiva de Energía Renovable (RED)
- La Directiva sobre la Calidad del Combustible (FQD)

A efectos prácticos, estas Directivas no establecen un requisito estricto para producir o utilizar los biocombustibles, pero sí determinan que los biocombustibles son la opción más lógica para cumplir con los requisitos formulados en dichas Directivas.

Respecto a la actual Directiva RED, el cumplimiento de la obligación del uso de biocarburantes se puede realizar mediante la aplicación de los biocombustibles en el sector del transporte marítimo por cuenta de las compañías petroleras que suministran los combustibles fósiles, tanto por carretera como para el transporte marítimo. Esta medida será diferente para cada Estado miembro, en función de la introducción e interpretación de la Directiva en la legislación de cada Estado.

3.2.1.5. El Mercado de los Biocombustibles

En cuanto a la producción de biocombustibles ha habido un crecimiento exponencial a nivel mundial en la última década, aunque se ha estabilizado durante los últimos años.

En la Unión Europea, la producción de biocombustibles en gran parte se ha centrado en el biodiesel, ya que está relacionado con la industria agrícola, sobretudo en países como Alemania, donde la producción de colza ha sido muy dominante. Por tanto, la UE es, por

¹² **Tep [en inglés, toe]:** Tonelada Equivalente de Petróleo. Es una unidad de energía. Su valor equivale a la energía que rinde una tonelada de petróleo, la cual, debido a la variación por su composición química, se toma el valor convencional de: 41 868 000 000 J = 11 630 kWh.

¹³ **Directiva Europea 2003/30/CE del 8 de Mayo de 2003.**

mucho, el mayor productor de biodiesel del mundo, con 5,7 Mtep en el año 2008 en comparación con la producción mundial de 11,2 Mtep (50%) – ver figura.

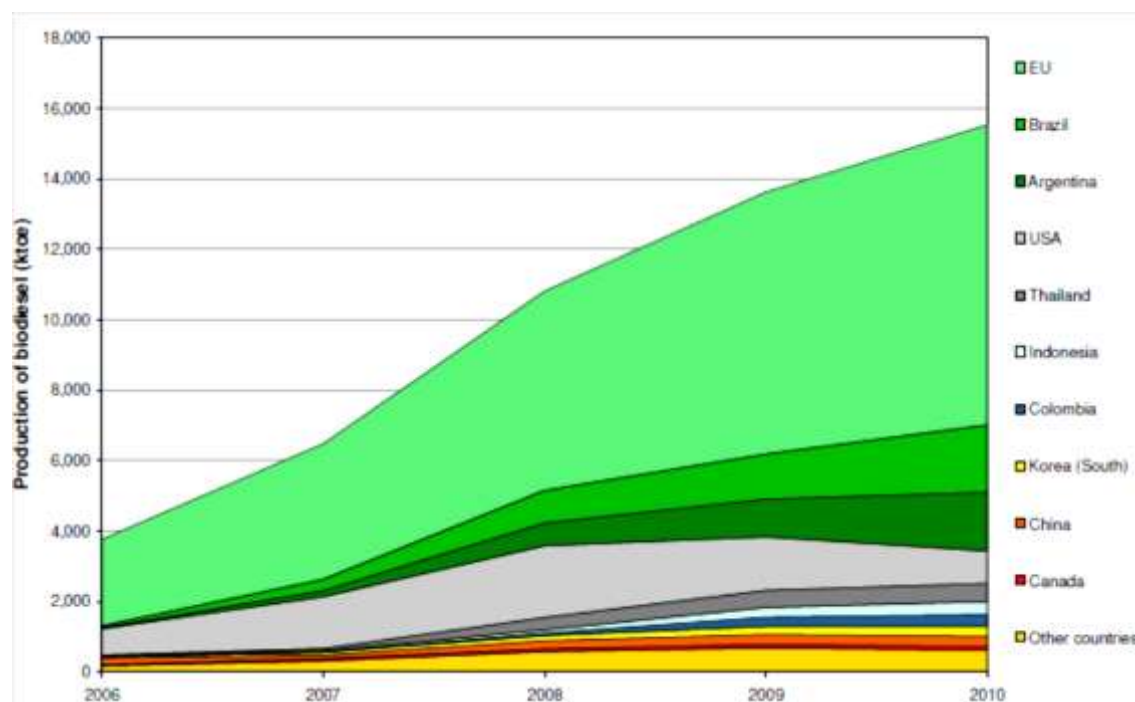


Fig. Producción de Biodiesel a nivel mundial del 2006 al 2010. Se muestran los diez países con mayor producción en volumen en el 2008. [Fuente: AgraCEAS y US EIA].

En el resto del mundo, el bioetanol tiene un papel mucho más grande. La producción mundial total fue de 40,4 Mtep en el año 2008, de los cuales sólo 1,5 Mtep se produjeron en la UE (4%) – ver figura.

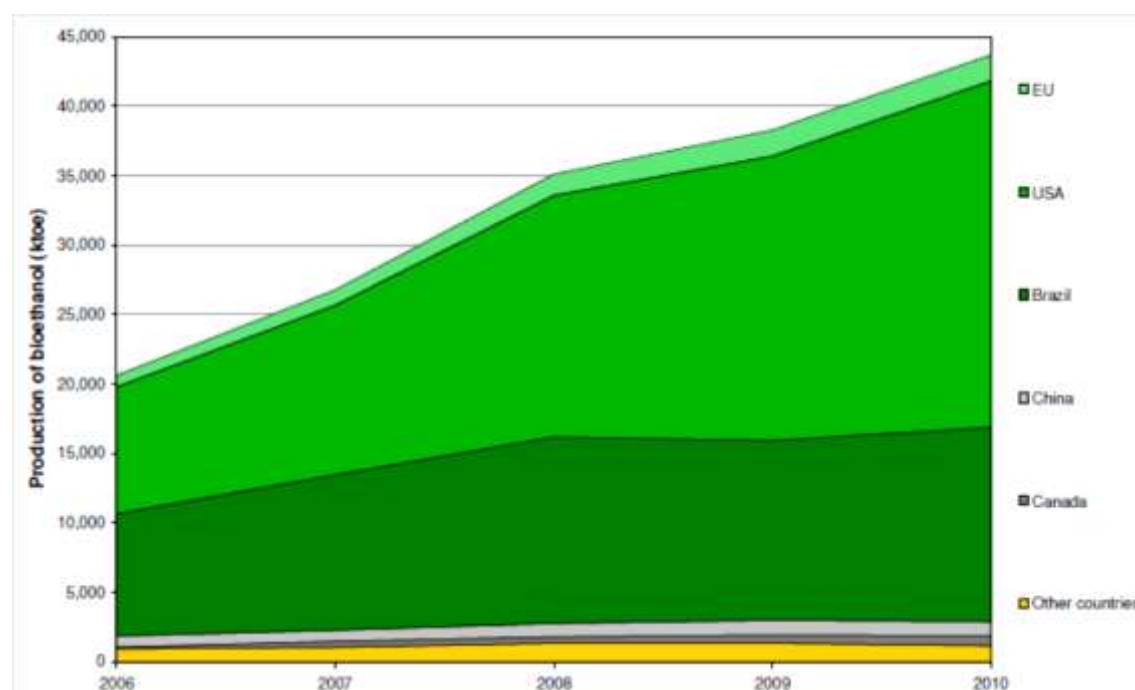


Fig. Producción de bioetanol a nivel mundial del 2006 al 2010. Se muestran los cinco países con mayor producción en volumen en 2008. [Fuente: AgraCEAS y US EIA]

El etanol en la UE fue impulsado principalmente por el acceso a la materia prima en grano de los países como Francia, que podía ser fermentado en etanol para generar combustibles. Actualmente, la producción de etanol en Europa también sigue basándose en el grano y también va cambiando cada vez más hacia el etanol basado en lignocelulosa.

A fin de comparar, el uso de combustible a nivel global en el transporte marítimo nacional e internacional es de unos 200 millones de toneladas¹⁴ de combustible al año. Esto significa que la producción actual de biocombustibles mundial es aproximadamente una cuarta parte de la energía utilizada en este sector. Sin embargo, la producción de biocombustibles se reparte por toda Europa, como se ve en la Fig []. Las instalaciones más nuevas y grandes se encuentran en los puertos internacionales y a lo largo de las principales vías de agua debido al fácil acceso a la materia prima. Especialmente a lo largo de las costas del Norte de Europa Occidental (Le Havre-Hamburgo), existe una concentración significativa de la producción de biocombustibles. En cuanto a la producción de biocombustibles en la zona del Mediterráneo, está más o menos limitada a España e Italia.

3.2.1.6. Biocombustibles Marinos y mezclas

El suministro de combustibles está disponible en cada zona portuaria, pero depende de la ubicación geográfica, cerca de las refinerías más grandes y de los almacenamientos del petróleo crudo. En Europa, por ejemplo, el almacenamiento de la refinería de petróleo más grande sólo se lleva a cabo en los puertos de Rotterdam y de Gibraltar. En cambio, en las zonas más pobres, como los países africanos por ejemplo, la disponibilidad puede ser mucho menor y menos fiable, obligando a los buques a la espera de nuevos suministros o repostar previamente en diferentes puertos.

La mezcla del combustible podría ocurrir directamente en la refinería, en el almacenamiento (en un proceso de pre-mezcla) o en el barco durante el suministro ya a bordo del buque receptor, donde se añaden aditivos de acuerdo con los estándares de los combustibles marítimos.

La mezcla de biocombustibles con combustibles marinos convencionales se lleva a cabo ya a bordo de los barcos directamente, en la mayoría de los casos, aunque en pequeñas cantidades. Una ventaja de la mezcla a bordo es que los biocombustibles podrían ser almacenados por separado, manteniendo mejor sus propiedades. De esta manera, la mezcla del biocombustible con el combustible convencional en un tanque separado, da la posibilidad de tener accesibilidad al biocombustibles en las zonas de control de emisiones (ECA) puesto que, los biocombustibles no contienen azufre.

¹⁴ **Consumo a nivel mundial:** Pew Center 2009, *Greenhouse gas emission from aviation and marine transportation: Mitigation potential and policies*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington VA USA.

Sin embargo, la mezcla a bordo del buque receptor no es vista como una opción atractiva a medio plazo. El manejo de un tanque de biocombustible por separado requiere la formación adicional por parte de la tripulación. Además, el propietario del buque ha de tener muestras de los combustibles de cada tanque de almacenamiento y debe someter estas muestras a las autoridades locales en caso de navegar por una zona de control de emisiones de óxidos de azufre. Este es el beneficio de tener un tanque con la mezcla de combustibles de bajo contenido en azufre o sin azufre de los biocombustibles con el combustible convencional ya realizada, puesto que se tienen ya muestras del tanque de mezcla auditadas y tomadas en el lugar.

Las mezclas de biocombustible de altos porcentajes y con altos estándares resultan en un mayor ahorro de las emisiones de CO₂. Sin embargo, las posibilidades de dichas mezclas son limitadas debido a problemas de compatibilidad con los sistemas de combustible convencionales, ya que un aumento del porcentaje de biocombustibles en la mezcla puede causar problemas en los materiales del sistema y en la lubricación de las partes móviles. Por ello es necesario que la infraestructura y los motores sean especiales para estos combustibles y consultarlo con los fabricantes, como se ha explicado anteriormente.

Para las mezclas Biodiesel, lo común son las mezclas B10, B30 y B100. El contenido de energía del 100% de mezcla (Biodiesel B100) es 10% menor que en el diesel convencional (por litro), y en cuanto al cálculo de ahorro de emisiones de CO₂, habría que realizar unos cálculos basados en el contenido energético para poder predecir los ahorros que resultarían. En los motores de automóviles se permiten mezclas mayores de biocombustibles, de hasta un 95% por ejemplo cuando se utiliza etanol. Incluso aumenta la eficiencia del motor cuando se utiliza E85 (85%).

En el proceso de suministro del combustible hasta el consumidor hay muchas partes involucradas, de la cual una gran cantidad de partes sólo se dedican al suministro (por ejemplo, en Rotterdam hay por lo menos 80 proveedores de combustible), y por otro lado, hay muchos armadores pequeños (con pocos buques); sólo hay unas pocas grandes compañías. Actualmente, los proveedores de combustible no asumen la responsabilidad suficiente para la calidad de los combustibles suministrados, que conlleva a la necesidad de la toma de muestras del combustible durante el abastecimiento de éste. Por ello, se tendrán que adaptar nuevos testes de las muestras de combustibles según las necesidades y problemas que podrían presentarse por la introducción de los biocombustibles en estas mezclas. Por ello, el punto de mezcla de los biocombustibles, en este caso se realizaría a nivel del proveedor.

3.2.1.7. Compatibilidad de los biocombustibles en los motores marinos

En un motor Otto la mezcla de combustible y aire no se enciende hasta que se crea una chispa. La relación de compresión es mucho más baja (1:11 vs. 1:20) en comparación con el encendido por compresión Diesel. En un motor Diesel, el aire se comprime tanto que se calienta y enciende el combustible. Por tanto, la auto-ignición requiere diferentes tipos de motores pero también es importante la temperatura de los diferentes tipos de combustibles. Para utilizar diferentes combustibles en un mismo motor, sólo es necesario realizar unos ajustes relativamente pequeños, en las líneas de combustibles, filtros e inyectores.

Los combustibles más usados en los motores Diesel son los siguientes:

- Diesel
- Biodiesel, aceite vegetal, DME (dimetil éter), GTL (*gas-to-liquid*), BTL (*biomass-to-liquid*), ácidos grasos (FAME - Fatty Acid Methyl Ester) y HVO (Aceite Vegetal Hidrotratado).

Por otro lado, los combustibles más usados en los motores Otto son los siguientes:

- Gasolina, Etanol, Metanol y Gas Natural.
- Biogás (Comprimido – GNC – y en forma líquida – GNL –) e hidrógeno.

Los fabricantes de motores tienen un papel muy importante en la introducción de los biocombustibles, ya que proporcionan la garantía de los motores para funcionar con combustibles de propiedades específicas.

MAN B&W Diesel junto con Wärtsilä, son los fabricantes con mayor experiencia en biocombustibles para la obtención de energía, además de ser unos importantes proveedores de motores. Por un lado, MAN confirma la viabilidad del uso de biocombustibles en sus motores.

A principio de los años 1990, Wärtsilä comenzó a investigar si los biocombustibles podrían ser compatibles con sus motores, y realizando los cambios necesarios para solucionar el problema de los materiales por la acidez del combustible, se llegó al resultado de que sí es posible utilizarlos en la mayoría de modelos de motores marinos.

Retrofitting

Según el fabricante MAN B&W Diesel, la adaptación de los motores existentes para el funcionamiento de los biocombustibles líquidos es posible. Para las plantas de generación de energía el coste de la conversión es relativamente pequeño en comparación con otros costes, como es el coste del combustible, ya que basándose en la experiencia, está demostrado que el motor consume su coste en combustible pesado (HFO) en 3-6 meses de uso. MAN proporciona una estimación aproximada del coste de la conversión de un motor marino al uso de biocombustibles, por menos del 5% del coste inicial del motor. Esto incluye la revisión y modificación de todas las instalaciones afectadas: tanques de almacenamiento del combustible, sistemas de tratamiento del combustible, tuberías, depuradoras, etc. siendo el mayor coste de la adaptación el de los tanques de almacenamiento debido a la acción corrosiva del biocombustible. Por otro lado, MAN afirma que la diferencia entre el precio del combustible pesado y los biocombustibles es el principal obstáculo para seguir la investigación y desarrollo de esta medida.

Los biocombustibles para sustituir los combustibles marinos

Los combustibles alternativos que se pueden implementar en los motores marinos dependen del tipo de motor, así, según la clasificación de mono-combustible o combustible dual, se tienen diferentes biocombustibles a emplear.

- Motores de un solo combustible:

Si se realizan cambios de ciclo Diesel a Otto y se tienen que realizar más ajustes, sobretudo en partes del motor que tienen que ser reconstruidas. En cambio, si se pasa de Diesel a GNC, GNL, etanol o hidrógeno, no son necesarios tantos ajustes y las emisiones de CO₂ se reducen (10-15% usando GNC). Además de que los motores diesel marinos son aproximadamente 30% más eficientes que los motores Otto.

- **Motores de Combustible Dual:**

El gas y el diesel se queman de forma simultánea y el ahorro de CO₂ es tan alto como es de esperar por su contenido energético. Se trata de una tecnología que consiste en dos sistemas de combustible instalados en el buque, permitiendo una combinación variable de ambos combustibles para quemar en el motor. Por ejemplo, es posible una variación del 100% de diesel hasta el 97% del GNL más 3% de diesel, lo que permite los grandes ahorros del CO₂ así como de los costes variables.

En la siguiente tabla se muestran los posibles biocombustibles que se pueden introducir para la propulsión de buques según el tipo de motor. La lista se compone de los biocombustibles descritos anteriormente. En principio, técnicamente es posible utilizar cualquiera de estos combustibles en motores diesel o de gas, excepto algunos biocombustibles como MTBE, ETBE y la gasolina sintética que no es una opción adecuada para los motores marinos debido a sus especificaciones al mezclarla con gasolina de alta calidad. Otros biocombustibles están en una etapa temprana de desarrollo y por tanto la información disponible es insuficiente para una evaluación completa del uso en los motores marinos, y por tanto, también fueron excluidos.

La tabla clasifica los biocombustibles para uso marino en función de los siguientes criterios:

- **Disponibilidad del biocombustible** – Según si es posible en la actualidad o a corto plazo producirse en grandes cantidades y estar a disposición en los puertos europeos.
- **Costes de Producción de los biocombustibles** – La reducción de los costes del combustible es un factor clave para los armadores, si los biocombustibles son más caros de producir que los convencionales se deben excluir aunque tengan un buen potencial en el mercado.
- **Madurez tecnológica** – El estado del desarrollo tecnológico afecta a la actual y futura producción y a la disponibilidad de los biocombustibles. Se toma en cuenta como un factor de riesgo si no se tiene una madurez para garantizar una calidad estable del producto.

COMBUSTIBLES	Alta Velocidad (Motores Auxiliares)	Media Velocidad (Motores Auxiliares y Principales)	Baja Velocidad (Motores Principales)
Aceite Vegetal Puro			
Biodiesel			
Aceite Vegetal Hidra-tratado			
Bio-metano			
Bio-etanol			

Bio-metanol			
Di-metil éter			
Bioaceite de Pirólisis			

Tabla. Evaluación cualitativa de la compatibilidad técnica de los biocombustibles en los motores marinos [Fuente: ECOFYS 2012]

Los campos sombreados en verde indican que la combinación del biocombustible con el motor es técnicamente posible. Las áreas de la tabla sombreadas en rojo indican que las combinaciones de los motores y los biocombustibles se estiman por ser posibles. Mientras que el tono amarillo indica una incertidumbre para integrar técnicamente el biocombustible a ese tipo de motor.

En la tabla también se indica que es posible usar alcoholes (etanol, metanol) en los motores diesel realizando algunas adaptaciones, y únicamente en los motores de alta velocidad. Los aceites de pirólisis pueden ser bastante viscosos (depende de la tecnología de producción y el tiempo de conservación) y por tanto, podrían ser más adecuados para motores de velocidad más baja.

Por tanto, la selección realizada para sustituir los combustibles convencionales por biocombustibles puede verse en la siguiente lista:

- **Biodiesel** – Para reemplazar MDO/MGO en motores de baja y media velocidad (usado en remolcadores, pequeños cargueros o buques de carga).
- **Di-metil éter DME** – Para reemplazar MDO/MGO en todos los tipos de motores (buques de carga de todos los tamaños).
- **Aceite Vegetal Puro** – Para reemplazar IFO o combustibles pesados residuales en motores de baja velocidad (buques de carga de todos los tamaños).
- **Bio-GNL o Biometano** – Para buques con motores de gas que usan GNL.
- **Bioetanol** – Usado en motores auxiliares y principales de alta velocidad (Buques de transporte a corta distancia, buques quimiqueros, o para la producción de electricidad a bordo del buque como en los buques de pasaje y cruceros, por ejemplo).
- **Bioaceite de pirólisis** – Usado en motores marinos de baja velocidad (buques de carga de todos los tamaños).

Desde un punto de vista técnico, según los estudios realizados en los casos de aplicación del informe **ECOFYS 2012**, la integración de las mezclas de pequeños porcentajes de biodiesel (hasta un 20% - B20) con el MDO/MGO parecen las más prometedoras para un combustible usado en el transporte marítimo y por otro lado, un reemplazo del 100% de un combustible HFO por aceite vegetal puro, ya que la compatibilidad con los motores actuales y con la cadena de suministro lo hacen posible.

Además de la limitada aplicación del bioetanol en los motores diesel, las inversiones necesarias para la cadena de suministro parecen ser manejables, aunque menos favorables que para el biodiesel y los aceites vegetales puros.

Por otro lado, el di-metil éter y el bio-GNL están en fase de desarrollo tecnológico y de momento la disponibilidad de materia prima de biomasa es limitada. Además, son necesarias mayores inversiones para la cadena de suministro del combustible para que puedan ser introducidos al mercado global. Aunque para los buques de nueva construcción esta opción parece ser más prometedora.

Por último, los aceites de pirolisis no son vistos como una opción viable para uso como combustible alternativo a bordo del buque en estos momentos.

3.2.1.8. Aspectos en el medio ambiente

Emisiones en el aire

Todavía no ha habido muchas pruebas publicadas de la aplicación de los biocombustibles en los motores marinos de baja velocidad, por lo tanto los resultados se extraen de las tendencias generales de las emisiones de salida del motor de alta velocidad, en comparación con los combustibles fósiles.

En la siguiente tabla se muestra la evolución general de las emisiones de los biocombustibles utilizados. Hay que tener en cuenta que hay muy poca información sobre el etanol y sus prestaciones en los motores diesel, por lo tanto, para su comparación se proporciona el rendimiento relativo del bioetanol en un motor Otto.

Mezclas	NOx	PM10	SOx	HC
Motores Diesel				
B100	+10%	-50%	-100%	-65%
B20	+2%	-12%	-20%	-20%
DME	-	-	-	+
BTL	-	-		
Gasolina / Motores Otto				
E85	-60%	-		+30%
M85	-30%	-		+25%
CNG	-33-97%	-95%	-100%	+

Tabla. Cambios en las emisiones cuando se reemplazan los combustibles fósiles por biocombustibles en los motores Diesel y de gasolina.

Cuando se sustituye el gasoil por biodiesel puro (B100), las emisiones de NOx aumentan aproximadamente un 10%. Este aumento es lineal, por lo que el uso de una mezcla al 20% (B20) de biodiesel produce un aumento del 2%. Las emisiones de NOx no están en función de la composición química, sino más bien de las condiciones de combustión.

La selección de un biocombustible tiene una influencia positiva tanto en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero como en la mejora de la calidad del aire local debido a que no tienen ningún contenido en azufre.

Otra ventaja de los biocombustibles es que si son utilizados en el 100% de las mezclas ayudan en caso de derrames al medio ambiente marino, debido a su naturaleza biodegradable, en comparación con los combustibles fósiles para el uso marino.

3.2.1.9. CONCLUSIÓN GENERAL SOBRE LOS BIOCOMBUSTIBLES

Para concluir se puede decir que el mercado de los combustibles es un mercado muy bien desarrollado, basado en productos residuales de las refinerías de petróleo y gas.

Actualmente existe un mercado para que los biocombustibles sean introducidos en los buques, basado en las políticas actuales, en los altos costes de operación y en los beneficios del medioambiente. El mercado de los biocombustibles para el transporte se está creado principalmente en torno a las políticas Europeas y nacionales, ajustando los objetivos hacia las energías renovables según la Directiva de Energías Renovables (RED).

La introducción de los biocombustibles en el transporte marítimo ayuda a reducir gradualmente las emisiones hacia la atmósfera producidas por los motores marinos y reguladas cada vez más estrictamente por la legislación del Convenio MARPOL (el uso de biocombustibles en mezclas de 100% reduce totalmente las emisiones de óxidos de azufre), además de tener la ventaja de la Salud, Seguridad y Medio ambiente (HSSE) en caso de derrames en el medio marino, por ser biodegradables, comparando con los combustibles convencionales. Dicho esto, se concluye que los biocombustibles son una alternativa sostenible para los combustibles marinos de origen fósil.

Por otro lado, es técnicamente posible reemplazar los combustibles marinos fósiles por los biocombustibles para los motores marinos. La disponibilidad actual de los biocombustibles se limita todavía la tecnología tradicional de producción a partir de la cosecha agrícola para el biodiesel y bioetanol. Esto es una desventaja para la introducción de estos biocombustibles para el uso marino, pero con otros tipos de biocombustibles, la producción y los recursos para ello son más interesantes para este sector del transporte, y también en cuanto a los costes y la integración técnica en la cadena de suministro de dichos biocombustibles, así como su comportamiento medioambiental.

La principal barrera del mercado que debería abordarse son las obligaciones locales que forman parte de la Directiva de Energías Renovables y las restricciones de azufre dentro de la normativa MARPOL que están afectado a los diferentes agentes del mercado en su cadena de suministro del combustible marino. Por tanto, muchos proveedores de combustibles marinos podrían verse afectados con la obligación de uso de combustible de menor contenido en azufre.

En cuanto a la legislación de los biocombustibles para uso marino se limita a un bajo nivel de detalles, y no es tan dominada y detallada como la legislación de la Unión Europea para el transporte por carretera por ejemplo. Para el transporte marítimo, la OMI es de mayor importancia y actúa a una escala global en igualdad de condiciones a nivel mundial. Esto podría ser también un obstáculo para la introducción de los biocombustibles, si la Directiva de Energías Renovables (RED), se prolongaría por ejemplo, hacia el sector del transporte marítimo también.

Los costes de producción de los biocombustibles siguen siendo más altos que el de los combustibles marinos de origen fósil. Sin embargo, la incertidumbre en el desarrollo tecnológico, la escala de producción y por tanto la reducción de costes, podría llevar a una situación de competencia si los combustibles marinos van aumentando su precio (como ya

ocurre en los suministros de los puertos de las zonas SECA) y si sigue el incentivo de obligación del uso de biocombustibles dentro de la RED. Este sigue siendo un factor impredecible en el futuro mercado de combustibles para uso marítimo con un fuerte efecto sobre la introducción de los biocombustibles.

3.2.2. GAS NATURAL LICUADO COMO COMBUSTIBLE

3.2.2.1. DEFINICIÓN Y USO

3.2.2.2. DISPONIBILIDAD

4. ZONAS GEOGRÁFICAS

4.1. Definición de las zonas de Control de Emisiones (ECA)

Las zonas de Control de Emisiones son áreas en las cuales se establecieron controles límites para los buques para minimizar las emisiones transmitidas a través del aire (SO_x, NO_x y partículas) ocasionadas por el transporte marítimo. El Anexo VI especifica los requisitos de cumplimiento con los límites de dos grupos de emisiones para las zonas ECA, por un lado para los SO_x y partículas, y por otro lado para los NO_x, conociéndose con el nombre de zonas SECA's y zonas NECA's respectivamente.

En estas zonas marítimas designadas, los buques deben utilizar combustibles con un contenido en azufre no superior al límite establecido por el Convenio, o bien utilizar un sistema de limpieza de los gases de escape (LGE), que reduce las emisiones hasta el valor equivalente permitido por kWh de salida. Es posible aplicar esta alternativa, pero teniendo en cuenta que los sistemas de limpieza de gases de escape no deben causar la contaminación del agua a través de, por ejemplo, las descargas del agua sucia con residuos en el mar, a fin de proteger el medio ambiente marino.

Table 9 – Limits on sulphur content of any fuel used on board ships

Outside an ECA established to limit SO _x and particulate matter emissions	Inside an ECA established to limit SO _x and particulate matter emissions
4.50% m/m prior to 1 January 2012	1.50% m/m prior to 1 July 2010
3.50% m/m on and after 1 January 2012	1.00% m/m on and after 1 July 2010
0.50% m/m on and after 1 January 2020*	0.10% m/m on and after 1 January 2015

* Depending on the outcome of a review, to be concluded in 2018, as to the availability of the required fuel oil, this date could be deferred to 1 January 2025.

Tabla. Límites del contenido en azufre de los combustibles usados a bordo
[Fuente: MARPOL, Edición Refundada de 2006]

Estas regulaciones se derivaron de las preocupaciones sobre la contribución del sector del transporte marítimo por la contaminación atmosférica local y global y los problemas ambientales. Y las zonas SECAs surgieron porque la contaminación del aire, y en particular las emisiones de ácidos, pueden tener un mayor impacto negativo sobre el medio ambiente en algunas regiones más que en otras, según la geografía.

CONTROL DE LOS COMBUSTIBLES EN LAS ZONAS SECAS

Los buques que operan tanto dentro como fuera de las zonas ECA consecuentemente operarán con diferentes tipos de combustibles a fin de cumplir con los límites de emisión respectivos. Se requiere que se tenga escrito a bordo los procedimientos para el cambio entre combustibles. El buque tiene que haber cambiado completamente el combustible que usará en la zona ECA previamente a entrar en dicha zona desde una zona externa a ECA. Similarmente, el cambio al combustible que se usa fuera de una zona ECA no se realizará hasta

que el buque haya salido totalmente de esta zona. Con cada cambio de combustibles, se tienen que registrar a bordo las cantidades de combustible de cumplimiento con las zonas ECA, junto con la fecha, la hora y la posición del buque cuando el buque haya realizado complemente el cambio de combustibles antes de entrar a la zona y una vez que éste haya comenzado el cambio de combustible cuando vaya a salir.

El primer nivel de control de los combustibles es en el contenido real de azufre del combustible suministrado al buque. Este valor tiene que venir proporcionado por parte del suministrador con el combustible en la nota de entrega. El valor del contenido en azufre junto con otros aspectos relativos está directamente ligado con los requisitos de calidad del combustible que vienen regulados bajo la normativa 18 (párrafo 14.2.6) del Anexo VI de MARPOL. En el caso de los combustibles aptos para las zonas ECA, la tripulación del buque deberá asegurarse de que aquel combustible no se mezclará con otros de mayor contenido en azufre cuando se almacena y se alimentan los equipos pertinentes.

4.2. Designación de las zonas SECAs

Para la solicitud de designación de un área como una SECA es necesario demostrar la necesidad de prevenir, reducir y controlar las emisiones de SO_x de los buques. En los apéndices III del Anexo VI del MARPOL se establecen los procedimientos y criterios para la designación de una SECA. Como breve explicación de ello, la solicitud incluiría:

- ✓ Una definición clara de la zona marítima propuesta;
- ✓ Descripción de las áreas terrestres y marinas en peligro;
- ✓ Evaluación de las emisiones de SO_x de procedencia marítima en el área designada y su impacto en el medio ambiente y en la salud humana así como una descripción de las metodologías empleadas;
- ✓ Las condiciones meteorológicas en la SECA propuesta y cualesquiera áreas críticas localizadas;
- ✓ Las expectativas de los patrones de tráfico del transporte marítimo;
- ✓ Descripción de cualquier control de las emisiones de SO_x en tierra cuando se espera que la SECA entre en vigor.

Haciendo una recapitulación sobre dicho Anexo VI *“Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques”*, del Convenio MARPOL que fue aprobado por la Conferencia internacional de las Partes en el septiembre de 1997 y que entró en vigor el 19 de Mayo de 2005, se inició limitando el contenido en azufre en los combustibles a nivel global al 4,5% en masa y en las zonas de Control de Emisiones de Azufre (ECA de SO_x – SECA) se permitía hasta un 1,5% de azufre en masa. En este Anexo VI se incluía la designación del Mar Báltico como una zona SECA, debido a que era una región particularmente bajo el riesgo de

acidificación, y en las enmiendas de 2005¹⁵ se designaba la zona del Mar del Norte como nueva zona de control de las emisiones de SOx, que entraría en vigor el 22 de Noviembre de 2006.

Pero actualmente, las zonas ECA que hay establecidas son las siguientes:

- **Para el control de NOx** (TIER III – Previsto para ser aplicado en los barcos construidos después del 1 de enero de 2020 operando en las zonas designadas como ECA):
 1. Zona de Norte America (desde Agosto 2012) – Es decir, alrededor de 200 millas de la línea de costa de EE.UU (incluyendo Hawaii) y Canadá junto con el territorio de las aguas de Saint-Pierre-et-Miquelon;
 2. Áreas del Mar Caribe de los Estados Unidos – Desde 1 de Enero 2014

De momento sólo hay estas dos zonas determinadas como NECA's pero en la Sesión MEPC. 66 se acordó el compromiso para implementar fechas de entrada en vigor para las zonas del Mar del Norte y el Mar Báltico. En el Mar Báltico el envío de emisiones de nitrógeno es de más de 13.000 tn¹⁶ en el mar, equivalente a cerca del total de las emisiones de nitrógeno desde tierra de países como Rusia o Suecia. Según un estudio de HELCOM¹⁷, si el Mar Báltico se estableciera como una zona ECA de control de NOx, se esperaría reducir la contaminación de nitrógeno en dicha zona alrededor de 7.000 tn anuales, puesto que una vez esté en vigor, se requerirá que cumplan con los estándares estrictos de las emisiones de NOx del Tier III definidas en el Anexo VI del Convenio MARPOL.

En la sesión anterior del MEPC (abril 2014), se acordó posponer los límites internacionales de las emisiones de NOx del 2016 al 2021, sin embargo, en las enmiendas recientes de transacción se incluye mantener la fecha inicial de aplicación (2016) para las zonas de Norte América y Mar de Caribe de EE.UU que ya están designadas como NECAs.

- **Para el control de SOx y partículas:**
 1. Zona del Mar Báltico; - Como es definido en el Anexo I MARPOL
 2. Zona del Mar del Norte; - Como es definido en el Anexo V MARPOL
 3. Zona de Norte América – como anteriormente descrita. – Como es definido en el Apéndice VII del Anexo VI MARPOL
 4. Zona del Mar Caribe de los Estados Unidos.

¹⁵ **Enmiendas de 2005 al Anexo VI del Convenio MARPOL:** Resolución de MEPC. 132 (53).

¹⁶ **Contaminación anual por Nitrógeno en el Mar Báltico** – Fuente de datos HELCOM – www.helcom.fi

¹⁷ **HELCOM – Baltic Marine Environment Protection Commission:** Gobierna la Convención de Protección del Medio Ambiente Marino del Área del Mar Báltico, conocido también bajo el nombre de La Convención de Helsinki.

4.3. Zonas ECAs Europeas

4.3.1. EL MAR BÁLTICO

Como se ha comentado en el apartado anterior, el Mar Báltico fue la primera zona designada como ECA, aprobada en las enmiendas del Convenio MARPOL, en el Anexo VI en 1997 y entró en vigor en mayo de 2005.

Según el Anexo I, párrafo 11.2 de la regla 1, la zona SECA del Mar Báltico se definió como:

Este mar propiamente dicho, con los golfos de Botnia y de Finlandia y la entrada al Mar de Norte por sus aguas interiores hasta el paralelo que pasa por Skagen, en el Skagerrak, a 57° 44,8' N y el estrecho de Kattegat.

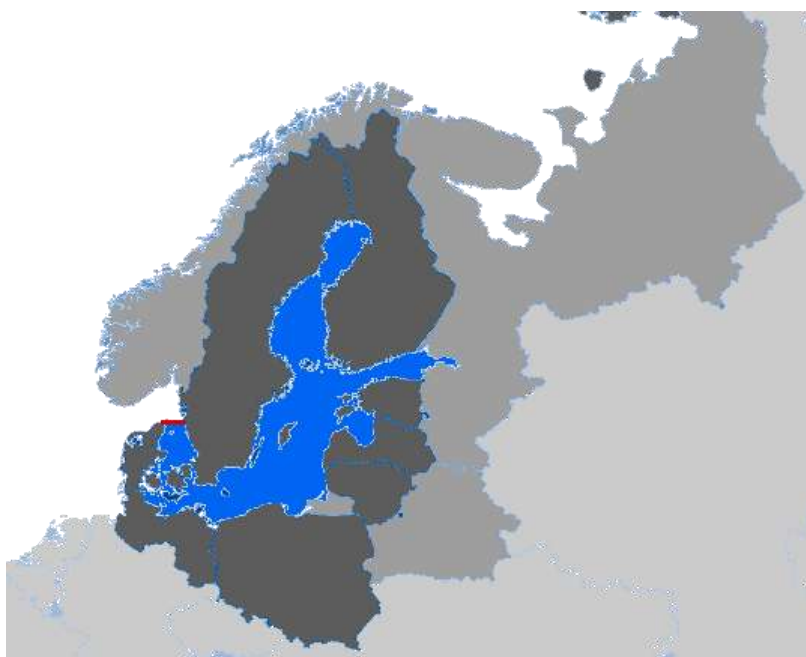


Fig. Determinación de la zona SECA del Mar Báltico

[Fuente: http://eu.baltic.net/Country_Specific_Information.1397.html]

Los países que lo rodean son (empezando por la península Escandinava y siguiendo en sentido horario): Suecia, Finlandia, Rusia, Estonia, Letonia, Lituania, Polonia, Alemania y Dinamarca. Es un mar poco profundo y con mareas de muy pequeña amplitud que junto con la poca apertura hacia el océano, hace que la renovación de las aguas sea muy lenta y favorezca los problemas de contaminación.

4.3.2. EL MAR DEL NORTE

A fin de declarar las zonas de control de emisiones de SO_x, se da por supuesto que quedan bajo declaración las zonas costeras (por ejemplo, a 100 millas náuticas de la costa) del Mar del Norte (que incluye también completamente el Canal de la Mancha) ya que estas zonas actualmente cubren la mayoría de las rutas de transporte marítimo. De manera que para

evitar cambios en las regulaciones de tráfico dentro de esta zona, se propone utilizar la misma demarcación como viene en el Anexo V “Reglas para prevenir la contaminación por las basuras” del Convenio MARPOL 73/78 en el apartado 1) – f) de la regla 5. Además, esto simplificará el cumplimiento, y de ser necesario, facilitará la observación de ello y la detección de violaciones de estas regulaciones.

Por lo tanto, el Mar del Norte según la definición del Convenio, comprende este mar propiamente dicho y las aguas comprendidas dentro de los límites siguientes:

- El mar del Norte, al sur del paralelo 62° N y al este del meridiano 4° W;
- El Skagerrak, cuyo límite meridional queda determinado al este de Skagen por el paralelo 57° 44,8' N;
- El Canal de la Mancha y sus accesos al este del meridiano 5° W y al norte del paralelo 48° 30' N.



Fig. Determinación por coordenadas de la zona SECA del Mar del Norte [Fuente: Clean North Sea Shipping]

4.4. Zonas ECA's de EE.UU.

En la 60 reunión del Comité de Protección del Medio Ambiente Marino, MEPC. 190 (60) (Marzo de 2010) se adoptaron las enmiendas del Anexo VI de MARPOL para designar las zonas ECA de Norte América para el control de NO_x, SO_x y Partículas. Se introdujo un nuevo apéndice VII en el que se definen los límites y las coordenadas de estas zonas, basadas en el “North American Datum of 1983/World Geodetic System 1984 (NAD/WGS84)”. Las enmiendas entraron en vigor el 1 de agosto de 2011, después de ser aprobadas el 1 de febrero de 2011.

En la resolución MEPC.1/Circ. 723 se provee más información sobre el Área de Control de Emisiones de Norte América bajo el Anexo VI de MARPOL, y en particular sobre la fecha de

entrada en vigor de los requisitos para los SOx que fue el 1 de Agosto de 2012, ya que en las enmiendas se especificaba que no entrarían en vigor dichos requisitos hasta pasados 12 meses de la fecha de comienzo como zonas ECA (1 de Agosto 2011). Mientras los buques naveguen en la ECA de Norte América, el contenido de azufre en el combustible usado a bordo no deberá exceder del 1.00% m/m en y después del 1 de Agosto de 2012, y del 0.10% m/m en y después del 1 de Enero de 2015.

4.4.1. ZONAS ECA DE NORTE AMÉRICA Y CANADÁ

Las zonas definidas según la normativa 13.6 y 14.3 del Anexo VI MARPOL – Apéndice VII son: (ver figuras y apéndices)

- El área de mar localizada en las costas del Océano Pacífico de los EE.UU y Canadá que se comprenden entre las líneas de conexión de los puntos de coordenadas especificados.
- Las zonas de mar ubicadas en las costas del Océano Atlántico de los EE.UU, Canadá y Francia (Saint-Pierre-et-Miquelon) y las de las costas del Golfo de México de los EE.UU que se comprenden dentro de las líneas conectadas por los puntos de coordenadas especificados.
- Las zonas de mar localizadas en las costas de las Islas de Hawái pertenecientes a Hawai'i, Maui, Oahu, Moloka'i, Ni'ihau, Kaua'i, Lāna'i y Kaho'olawe que están comprendidas en las líneas conectadas por los puntos de coordenadas especificados.

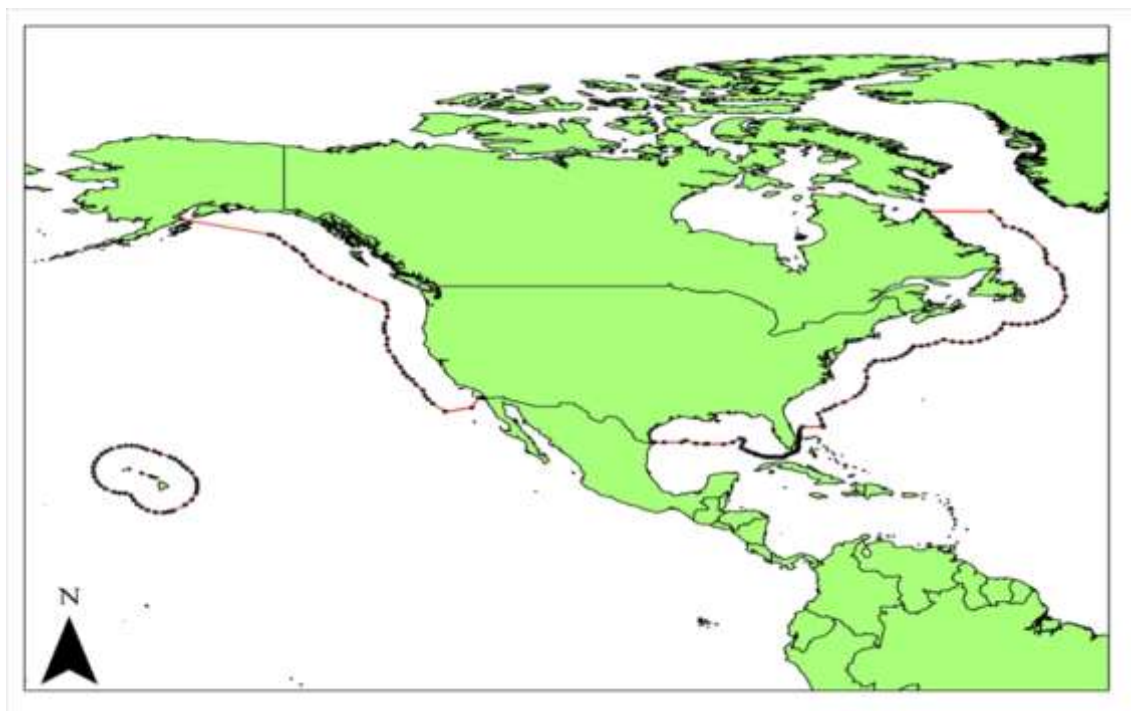


Fig. Vista general de las zonas de Control de Emisiones de Norte América

[Fuente: MEPC. 1 Circ. 723 IMO]

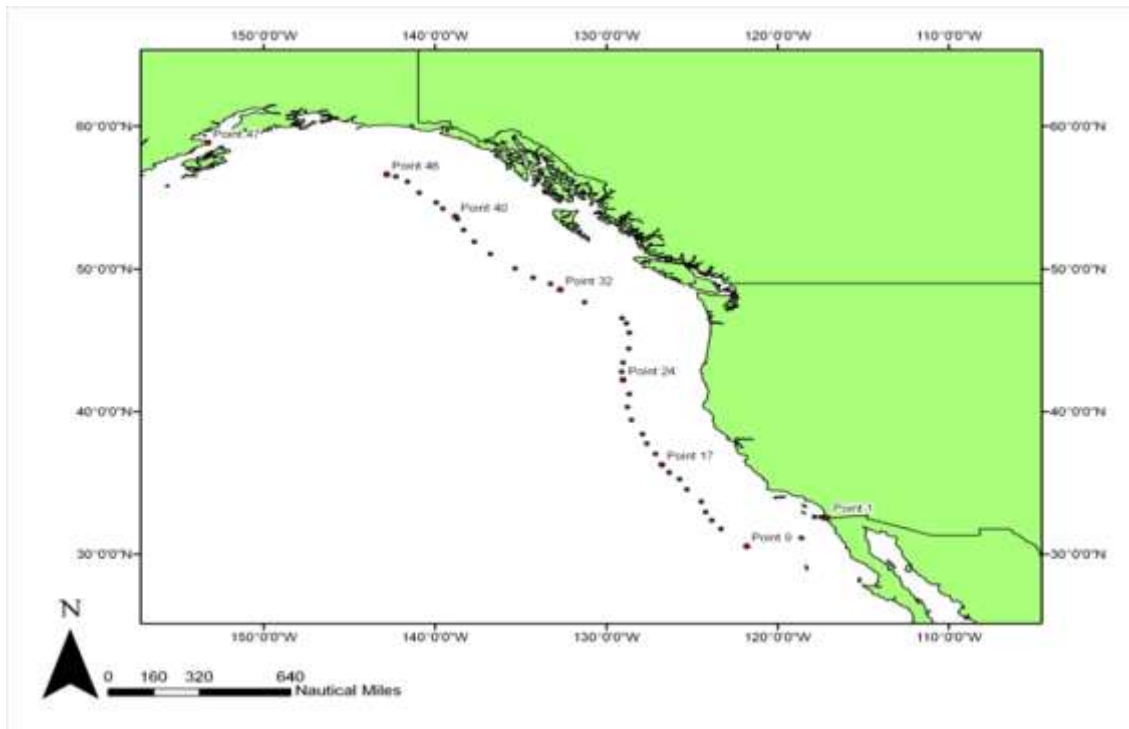


Fig. Vista aumentada de la Costa del Pacífico

[Fuente: MEPC. 1 Circ. 723 IMO]

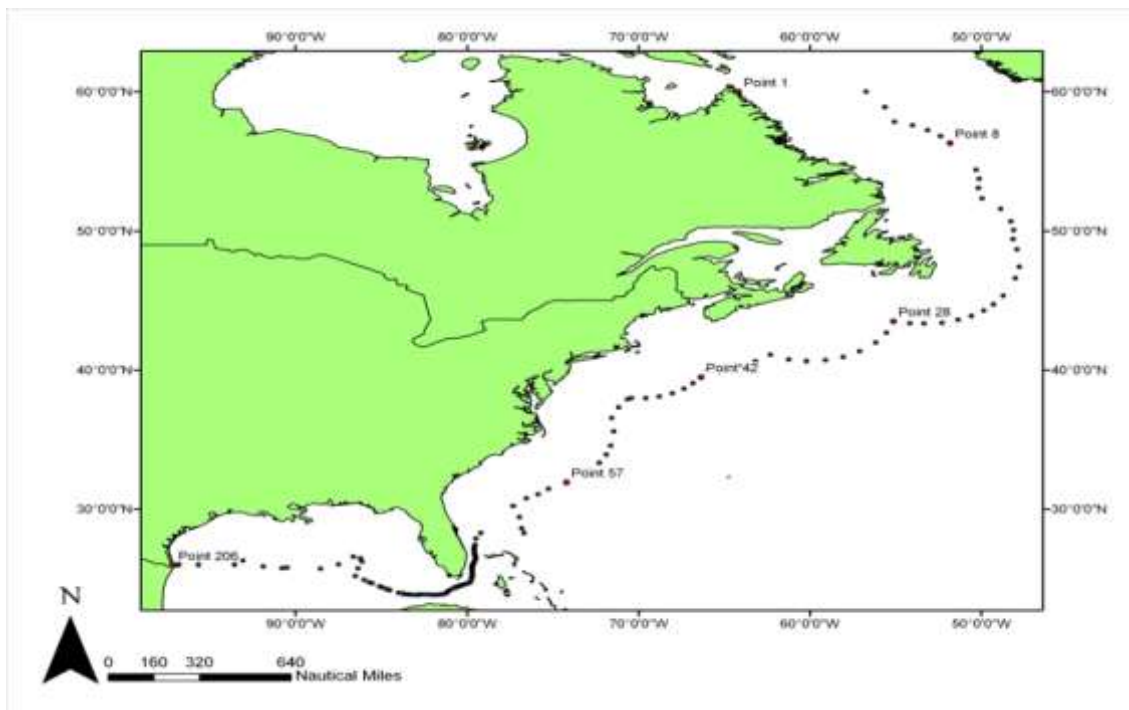


Fig. Vista aumentada de la Costa del Atlántico y del Golfo de México

[Fuente: MEPC. 1 Circ. 723 IMO]

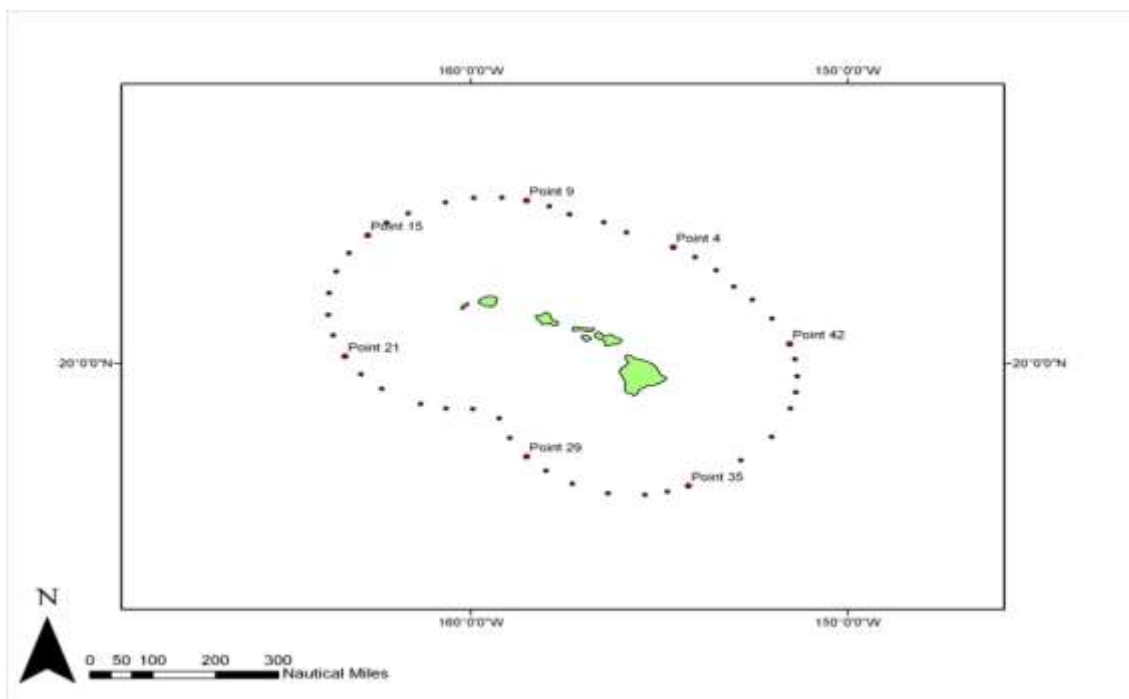


Fig. Vista aumentada de las Islas de Hawaii

[Fuente: MEPC. 1 Circ. 723 IMO]

4.4.2. ZONAS ECAs DEL MAR CARIBE

En la sesión 62 (11-15 Julio 2011) del Comité de Protección del Medio Marino, en la resolución MEPC. 202 (62), se designaron las zonas de Control de Emisiones para NO_x, SO_x y partículas en el Mar Caribe de los Estados Unidos. (Enmiendas a las regulaciones 13, 14 y apéndice VII).

De acuerdo con la normativa 14.7 del Anexo VI del MARPOL, los requisitos en las ECA del Mar Caribe de los Estados Unidos para los SO_x y partículas son efectivos desde el 1 de Enero de 2014, y el requisito del 0.1% m/m después del 1 de Enero de 2015. Para aquellos buques construidos en o antes del 1 de Agosto de 2011, que son propulsados por calderas de propulsión y que no fueron originalmente diseñados para operar con combustibles marinos destilados o gas natural, los requisitos anteriores se aplicarán a partir del 1 de Enero de 2020 (Normativa 14.4.4 del Anexo VI del MARPOL).

El área del Mar Caribe de los Estados Unidos incluye la zona de mar localizada fuera de las costas Atlánticas y Caribeñas pertenecientes al Estado Libre Asociado de Puerto Rico y de Las Islas Vírgenes de los Estados Unidos, y están comprendidas entre los siguientes puntos de coordenadas. (Ver en los apéndices la tabla de puntos de coordenadas).

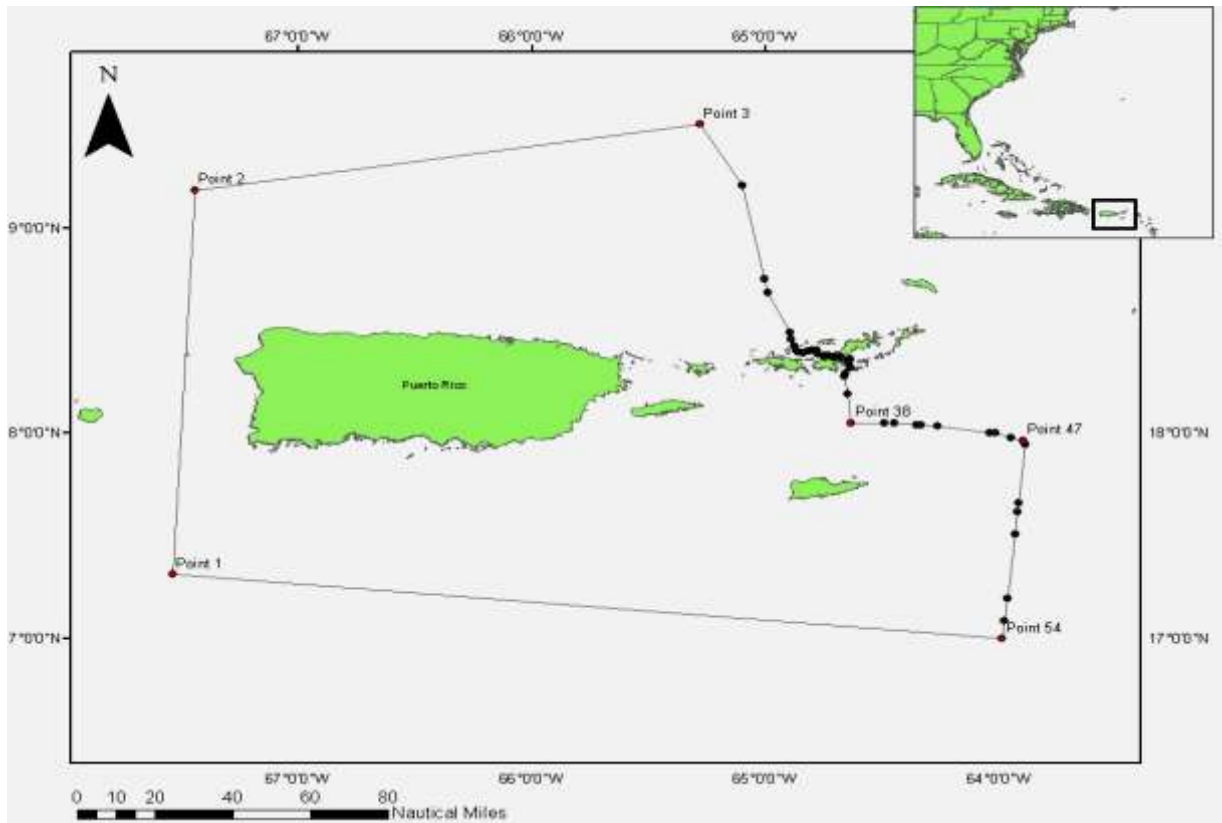


Fig. Vista general de las zonas de Control de Emisiones del Mar Caribe

[Fuente: MEPC. 1 Circ. 755 IMO]

5. LÍNEAS REGULARES DEL MAR DEL NORTE

5.1. ESTUDIO – RUTA 1

HIRTSHALS – STAVANGER – BERGEN

La compañía naviera de ferris *Fjord Line* que opera principalmente en el Mar Báltico, ha invertido en la construcción de dos buques gemelos **MS Stavangerfjord** y **MS Bergensfjord** propulsados por GNL. El buque MS Stavangerfjord ha sido el primer y más grande ferry propulsado solamente por este combustible. Estos dos buques realizan diariamente la travesía entre Hirtshals y Bergen, con parada en Stavanger y también combinan otra ruta entre Hirtshals y Langesund.

Como bien es sabido, el combustible GNL no contiene azufre y tampoco metales pesados, por tanto, según la compañía estos buques reducen las emisiones de CO₂ un 23% y las emisiones de NO_x alrededor de un 92% en comparación con el uso de combustibles pesados.



Fig. Mapa de la Ruta 1: Hirtshals – Stavanger – Bergen [Fuente: Fjord Line]

Una vez definida la ruta, se realizará una comparación con un camión que haría la misma ruta por carretera, analizando parámetros como la duración del viaje y las emisiones de óxidos de azufre y CO₂ hacia la atmósfera.

5.1.1. EL TIEMPO DE VIAJE DE LA RUTA 1

El horario de la ruta de Hirtshals a Bergen es el siguiente:

Salida de HIRTSHALS	Llegada a STAVANGER	Llegada a BERGEN
21:30 h	07:00h (siguiente día)	13:00h

[Fuente: Fjord Line]

El tiempo de travesía del buque entre Hirtshals y Stavanger es de 9 horas y media, y el tiempo entre Stavanger y Bergen se desconoce debido a que no se proporciona el tiempo de estancia en el puerto de Stavanger, pero se sabe que se tarda 15 horas y media hasta llegar a Bergen desde Hirtshals.

Si el transporte de mercancía lo realizaría un camión, seguiría la ruta representada en la imagen de abajo.

El camión tendría que realizar un tramo de la ruta navegando hasta Kristiansand, y otro tramo correspondiente a 370 km por carretera.

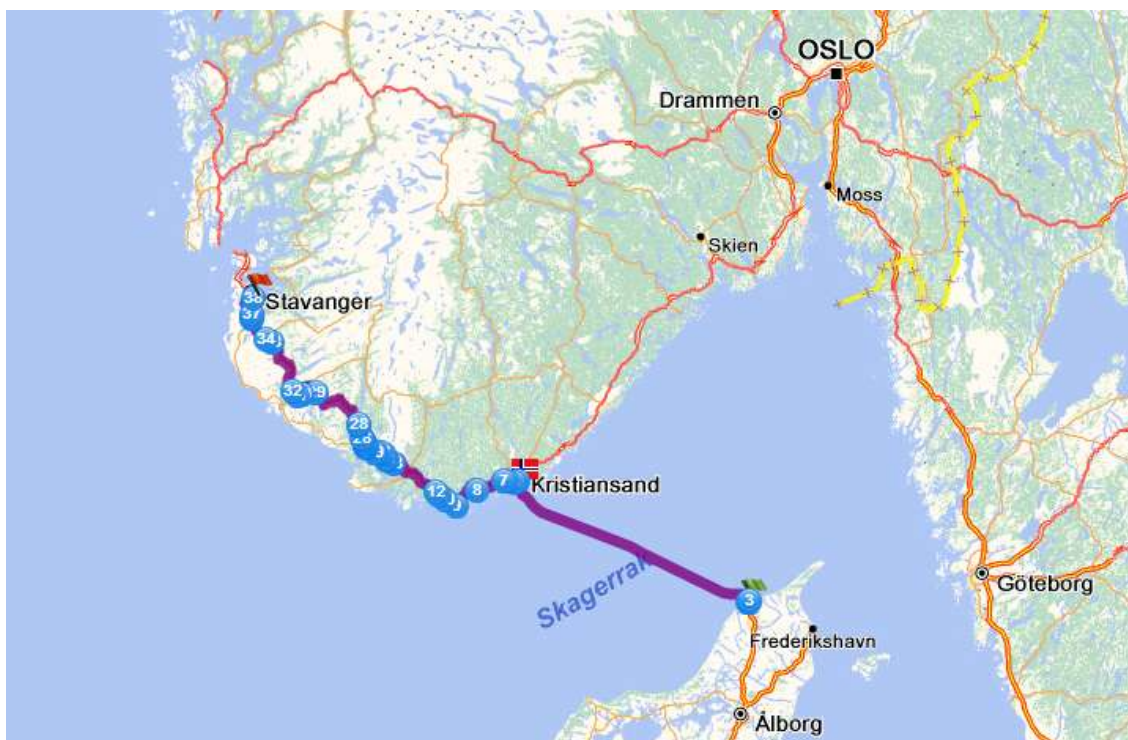


Fig. Mapa de la Ruta 1 en camión por carretera combinada con ferry hasta Kristiansand

[Fuente: ViaMichelin.es]

El tramo por vía marítima se podría hacer con un buque de la misma compañía, en este caso es el buque rápido Fjord Line Express que realiza la ruta en 2 horas y 15 minutos.

Salida de HIRTSHALS	Llegada a KRISTIANSAND
10:00 h	12:15 h
17:00 h	19:15 h
23:30 h	01:45 h

Tabla. Horarios de ida de la Ruta Hirtshals – Kristiansand. [Fuente: Fjord Line]

Por otro lado, el tramo de 370 km por carretera se cubriría en aproximadamente 5 horas teniendo en cuenta que es una carretera nacional y el camión circula como máximo a 80 km/h.

Por lo tanto, el viaje total utilizando esta opción sería de 7h y 15 minutos, 2 horas menos que si se realizará completamente por vía marítima.

5.1.2. EMISIONES EN LA ATMÓSFERA EN LA RUTA 1

A continuación se analizan las emisiones de SO_x y CO₂ en los dos medios de transporte por tonelada transportada, para identificar cuál sería la opción más óptima para realizar el transporte de la mercancía.

5.2. ESTUDIO – RUTA 2

HIRTSHALS – LANGESUND

La ruta entre Hirtshals (Dinamarca) y Langesund (Noruega) también es operada por los nuevos buques de la compañía, **MS Stavangerfjord** y **MS Bergensfjord**, propulsados por GNL, con el horario que se indica en la tabla de más abajo.



Fig. Mapa de la Ruta 2: Hirtshals – Langesund. [Fuente: Fjord Line]

Salida de HIRTSHALS	Llegada a LANGESUND
9:30 h	14:00 h
Salida de LANGESUND	Llegada a HIRTSHALS
15:00 h	19:30 h

Tabla. Horarios de ida y vuelta de la Ruta Hirtshals – Langesund. [Fuente: Fjord Line]

5.2.1. TIEMPO DE VIAJE DE LA RUTA 2

El tiempo de travesía del buque desde Hirtshals hasta Langesund es de 4 horas y media. Si el viaje se realiza por carretera se seguiría este trayecto:

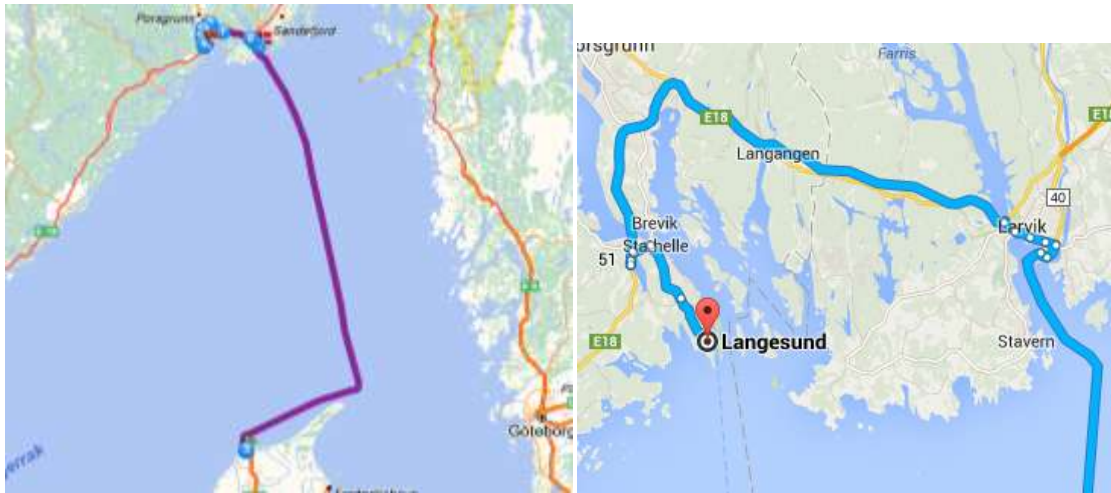


Fig. Mapa de la Ruta 2 en camión por carretera combinada con ferry hasta Larvik [Fuente: ViaMichelin.es]

Como se observa, la ruta recomendada es realizar un tramo por mar, desde Hirtshals hasta Larvik (Noruega) con duración de 3h y 45 minutos y después 240 km por carretera hasta Langesund, otras 3 horas más, teniendo en cuenta que el camión circula a 80 km/h. El tiempo total del trayecto considerando esta opción sería de aproximadamente 7 horas, es decir, cerca de 3 horas demés que si se realizaría solamente por vía marítima.

5.2.2. EMISIONES EN LA ATMÓSFERA EN LA RUTA 2

5.3. ESTUDIO – RUTA 3

La ruta entre Sandefjord (Noruega) y Strömstad (Suecia) es operada por el buque MS Olsofjord, en este caso, no se trata de un buque propulsado por GNL.



Fig. Mapa de la Ruta 3: Sandefjord – Strömstad [Fuente: Fjord Line]

El horario de la ruta es el siguiente:

Salida de SANDEFJORD	Llegada a STRÖMSTAD
6:45 h	9:15 h
13:00 h	15:30 h
Salida de STRÖMSTAD	Llegada a SANDEFJORD
9:45 h	12:15 h
16:30 h	19:00 h

Tabla. Horarios de ida y vuelta de la Ruta Sandefjord – Strömstad. [Fuente: Fjord Line]

5.3.1. TIEMPO DE VIAJE DE LA RUTA 3

La duración del viaje entre Sandefjord y Strömstad mediante buque es de 2 horas y media, mientras que si la carga viaja en camión, seguiría el trayecto descrito a continuación:

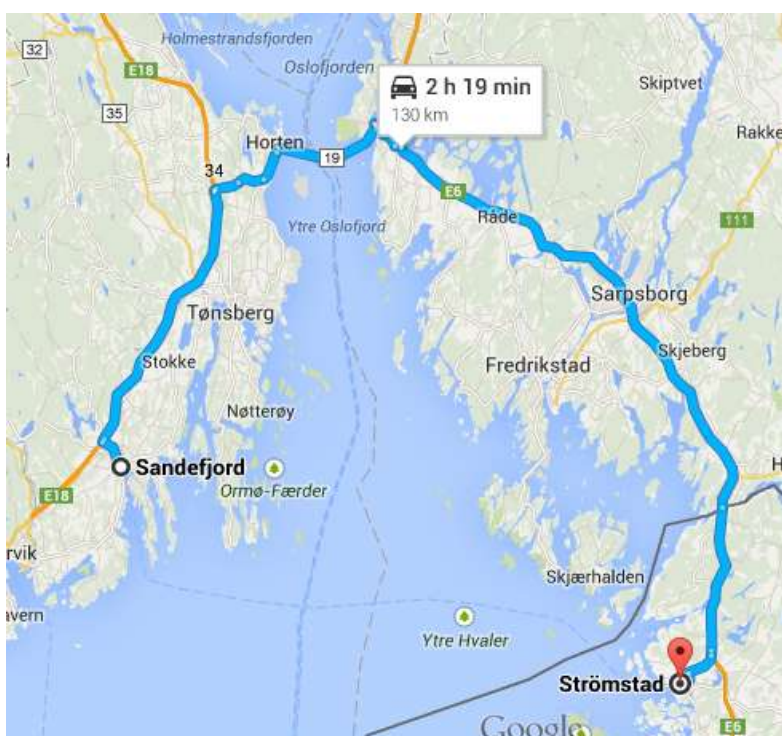


Fig. Mapa de la Ruta 3 en camión por carretera combinada con ferry desde Horten hasta Moss [Fuente: GoogleMaps]

Por tanto el trayecto del camión quedaría dividido de la siguiente forma:

- **Tramo 1: Sandefjord – Horten**

La distancia desde Sandefjord hasta el puerto de Horten es de 40 km, el camión tardaría 1 hora en llegar.

- **Tramo 2: Horten – Moss**

Travesía realizada en ferry, de la naviera Bastø Fosen, que realiza cada media hora durante el día cuando hay más actividad, y cada hora por las noches y fines de semana. Realizar el cruce entre Horte y Moss lleva 30 minutos.

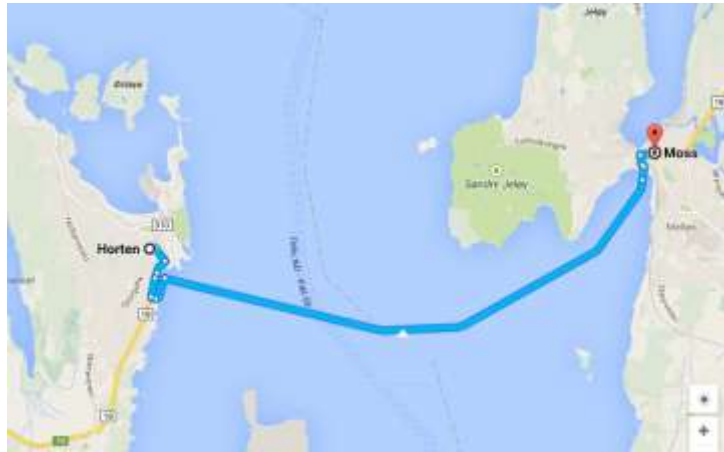


Fig. Travesía en ferry entre Horten y Moss (Noruega) [Fuente: GoogleMaps]

- **Tramo 3: Moss – Strömstad**

La distancia desde el ferry en Moss hasta Strömstad es de 75 km. Al igual que en los casos anteriores, si el camión circula a 80 km/h, tardaría en llegar aproximadamente 1h.

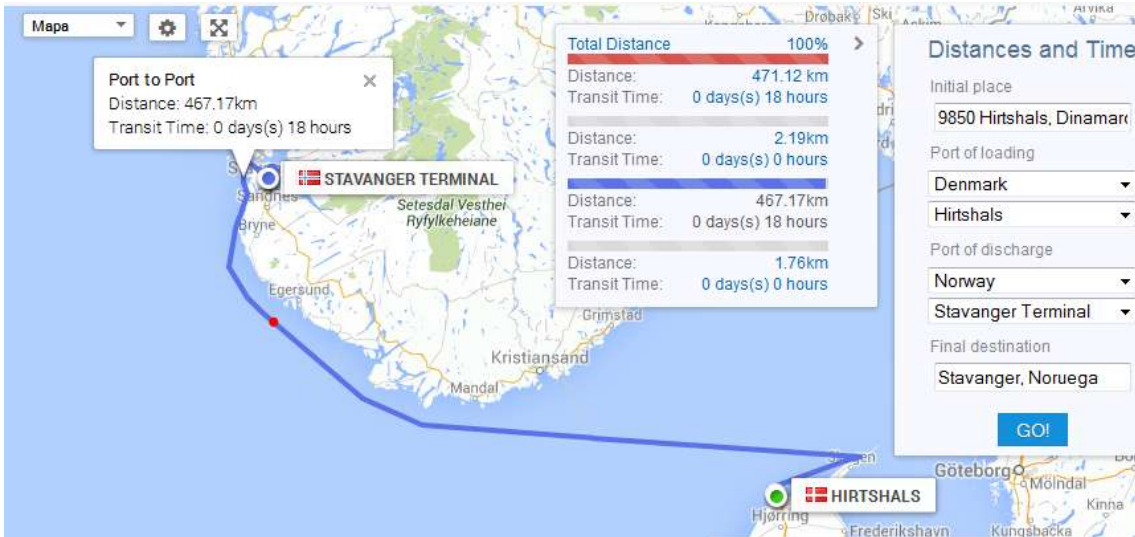
Sumando el tiempo de viaje de cada uno de los tramos, resulta que al camión le lleva 2 horas y media transportar la mercancía por carretera, al igual que si utilizara solamente el ferry.

Para comprobar cuál es la mejor opción para el transporte de mercancías en estas rutas analizadas en cuanto a costes y al impacto en el medio ambiente, se analizarán las emisiones producidas en cada ruta y método de transporte.

5.4. CÁLCULOS DE LAS RUTAS

RUTA 1 – HIRTSHALS (Dinamarca) – STAVANGER (Noruega)

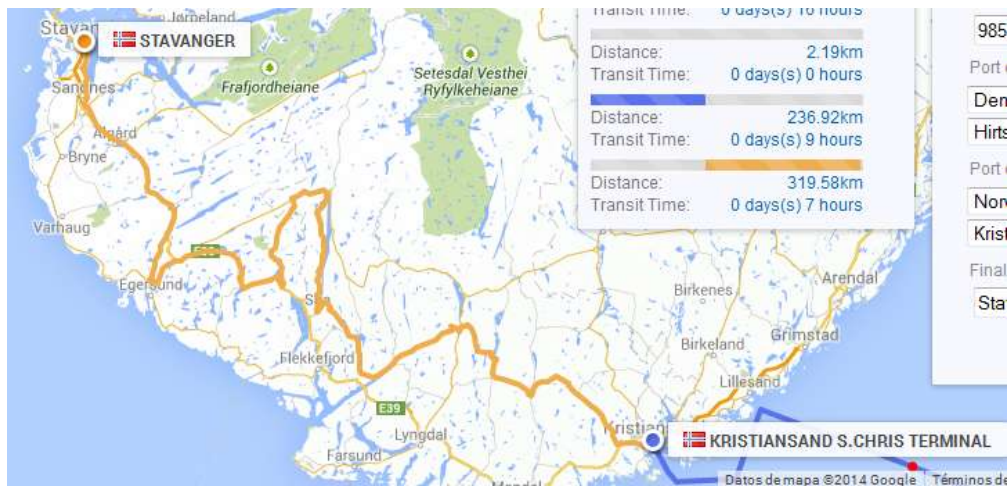
Distancia por vía marítima entre Hirtshals y Stavanger 467,17 km.



Distancia por vía marítima entre Hirtshals y Kristiansand: 237 km.

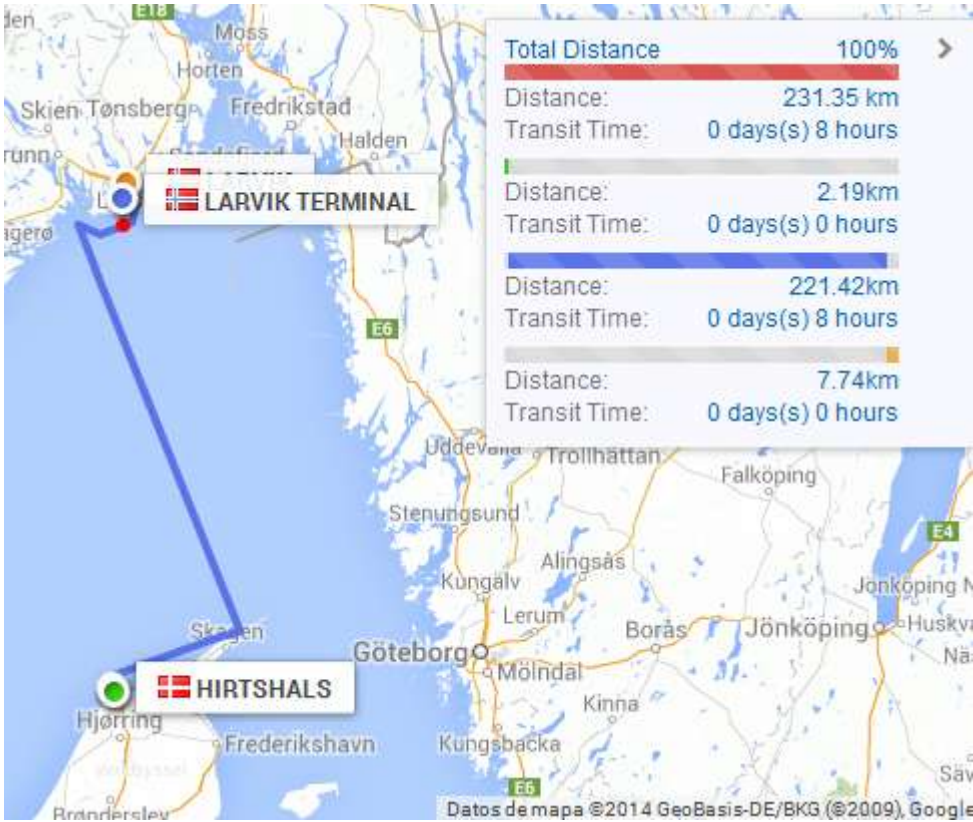


Distancia por carretera entre Kristiansand y Stavanger 319,58 km

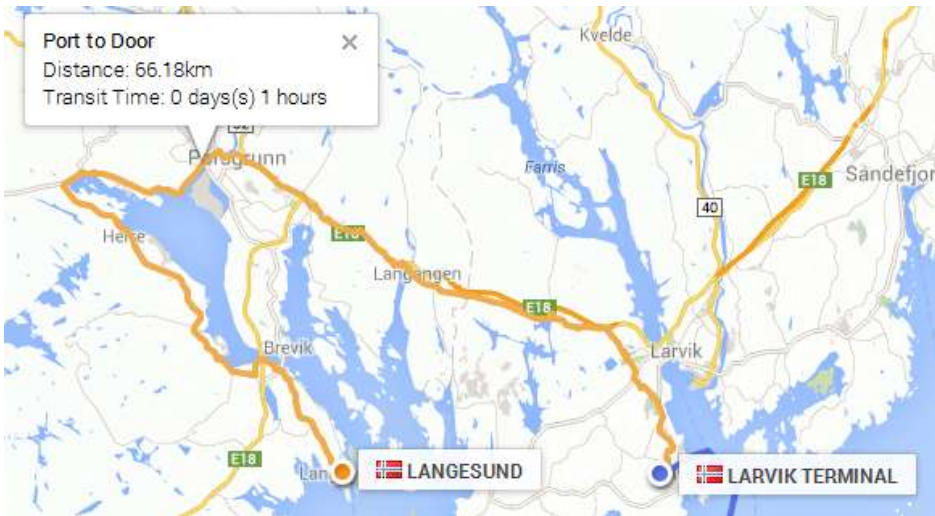


ruta 2 - hirtshals - langesund

Distancia por vía marítima entre Hirtshals y Larvik: 221,42 km



Distancia por carretera entre Larvik y Langesund: 66,18 km



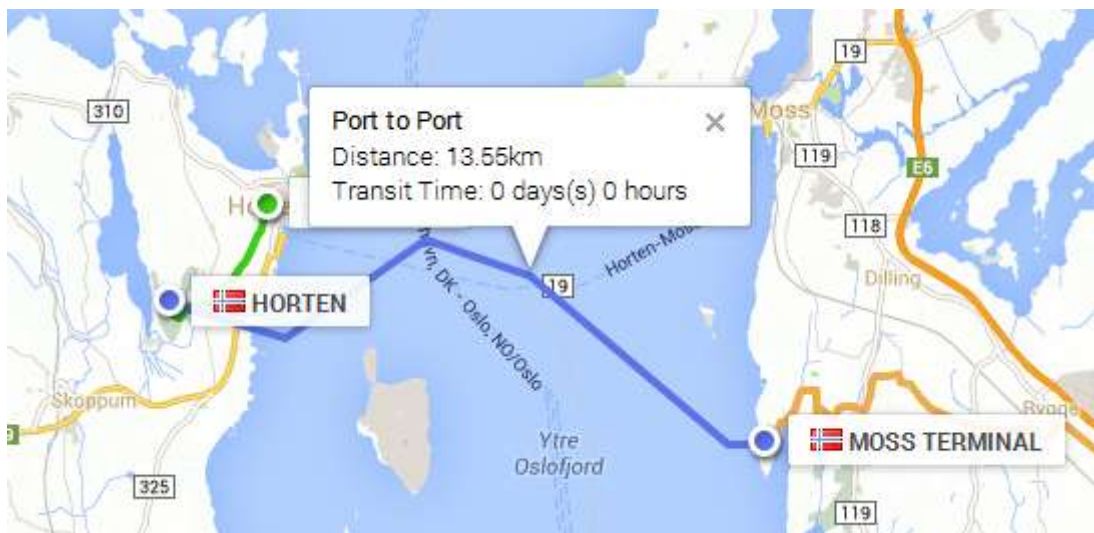
RUTA 3 – SANDEFJORD (Noruega) – STRÖMSTAD (Suecia)

Distancia por vía marítima entre Sandefjord y Strömstad:

Distancia por Carretera entre Sandefjord y Horten: 37,84 km; donde se tomará ferry para cruzar hasta Moss y seguir por carretera hasta Strömstad.



Distancia entre Horten y Moss: 13,55 km



Distancia ente Moss y Strömstad: 83,44 km



<http://www.searates.com/reference/portdistance/>

6. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES BASADA EN EL MODELO MOPSEA

Para el cálculo de las emisiones de las rutas seleccionadas se ha utilizado el modelo MOPSEA, que se basa en las estadísticas de años de navegación de los buques.

Primero de todo se define los datos de las diferentes etapas de navegación de los buques. Después, se calcularán la energía consumida y las emisiones de los motores principales y auxiliares.

6.1. Detalles de la Actividad de los buques

El modelo es capaz de calcular las emisiones y el consumo energético para cada una de las etapas de navegación de cada viaje y estancias en puerto.

Se conoce la siguiente información de cada viaje:

- La ruta (etapas de navegación);
- La duración total del viaje o tiempos de estancia en puerto;
- Las características del buque (base de datos de Lloyd's Register Fairplay):
 - La velocidad de crucero del buque;
 - El tipo de motor (2 tiempos, 4 tiempos, turbina de vapor, etc.).

Además, se estiman los siguientes parámetros para cada viaje:

- La duración de cada etapa de navegación para cada viaje;
- El porcentaje de la carga máxima (% MCR) para cada etapa de navegación.

Distintas etapas de navegación

Para el cálculo de las emisiones de los buques, en el viaje de navegación del buque se distinguen varias etapas diferentes:

- Etapa de Navegación
- Etapa de Maniobra (Entrada y Salida del puerto)
- Etapa de Estancia en puerto

Estimaciones del % MCR

El porcentaje de la potencia total del buque (la carga de los motores) es dependiente de la etapa de navegación del buque, del tipo de buque y de la eslora del buque. A continuación se muestra la tabla de estimación del % MCR considerado para el estudio.

Situación del Buque	% MCR (Carga del Motor)
Navegación	85
Maniobra (Entrada y Salida)	40
Estancia en Puerto (Auxiliares)*	20

***Nota:** Durante la estancia en puerto del buque, se considera que los motores principales están parados y únicamente funcionan los motores auxiliares como generadores de electricidad, en caso de que no estén conectados a la toma de corriente del puerto.

Tabla. Porcentajes de valores de la carga del motor según la situación del buque

6.2.FACTORES DE EMISIÓN

Las sustancias contaminantes provenientes del combustible principalmente son el CO₂ y SO₂.

CO₂

Los factores de emisión de CO₂ en el modelo de estimación de emisiones MOPSEA son aquellos indicados por *Flemish Energy Balance*¹⁸, que corresponden con los factores de emisión de CO₂ de IPCC¹⁹.

SO₂

El contenido global medio de azufre en los combustibles pesados es variable actualmente, pero en el diesel y gasóleo se considera un valor de 0,2% de azufre en masa. A partir de la entrada en vigor del Anexo VI del Convenio MARPOL el 19 de mayo de 2005, que incluía la designación de las primeras zonas SECA, empezaron a variar los contenidos en azufre a nivel global, siendo de 1,5% en masa dentro de aquellas zonas, así como la imposición por parte de la Directiva Europea 2005/33/EC a partir de año más tardes, en 1 de Enero de 2010 para el uso de combustibles con menos de 0,1% en masa cuando el buque atraca en un puerto de la UE durante más de 2 horas.

Por tanto, los factores de emisiones de CO₂ y SO₂ tanto para motores principales como auxiliares se presentan en la siguiente tabla.

Factor Emisión (kg/tn)	HFO	Diesel / Gasóleo	GNL
CO ₂	3110	3100	2930
SO ₂ (...-18/05/2006)	54	4	~0
SO ₂ (19/05/2006 – 2009)	30	4	~0
SO ₂ (2010 - ...)	30	4 o 2*	~0

*2 kg SO₂/tn combustible en puerto (con duración mínima de 2 horas)

Tabla. Factores de Emisión de CO₂ y SO₂ por kg/tonelada de combustible [Fuente: MOPSEA]

6.2.1. MOTORES DE 4 TIEMPOS: Factores de Emisión según la Tecnología

Los factores de emisión relacionados con la tecnología de los motores de 4 tiempos, para los contaminantes HC, CO, NO_x y PM, son aquellos proporcionados por el proyecto EMS²⁰. Están

¹⁸ **Flemish Energy Balance:**

¹⁹ **Factores de emisión IPCC:**

diseñados al igual que los parámetros de los motores de 2 tiempos, como una combinación de los factores básicos de emisión y correctivos para esta tecnología (edad y regulación de NOx) y el porcentaje de carga máxima del motor (potencial total MCR – *Maximum continuous rate*).

$$\text{Factor Emisión} \left(\frac{g}{kWh} \right) = F. \text{básico emisión} \left(\frac{g}{kWh} \right) \times \text{CorrEdad} \times \text{CorrNOx} \times \text{CorrMCR}$$

CORRECCIÓN POR LA TECNOLOGÍA

Se corrigen dos factores para ser implementados en los factores básicos de emisión y tener en cuenta la tecnología usada en los buques de navegación:

1. Las emisiones son dependientes del año de construcción de los buques debido a la evolución tecnológica;
2. Los motores principales construidos después del año 1993 tienen unas restricciones para las emisiones de NOx empezando con la entrada en vigor del Anexo VI del MARPOL.

CORRECCIÓN DEL FACTOR POR EL % DE CARGA DEL MOTOR (MCR)

Los factores básicos de emisión están basados en pruebas cíclicas del motor correspondientes a la media de cada etapa de navegación. Por tanto, no son representativos para otros porcentajes de carga particulares. Por ello, es necesario un factor de corrección para el cálculo de emisiones usando los factores básicos para los porcentajes de cargas individuales.

En las siguientes tablas se presentan los factores básicos de emisión y los factores de corrección por edad, por la regulación de NOx y por el porcentaje de carga del motor.

Table 21: basic emission factors (g/kWh) for a 4-stroke engine

EF (g/kWh)	Heavy fuel oil	Diesel and gas oil
HC	0,6	0,6
CO	3	3
NO _x	12	12
PM	0,8	0,5

Table 22: correction factor for the age of the 4-stroke engine

Date of building	Heavy fuel oil				Diesel and gas oil			
	HC	CO	NO _x	PM	HC	CO	NO _x	PM
< 1974	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1975 – 1979	1,00	1,00	1,17	1,00	1,00	1,00	1,17	1,00
1980 – 1984	1,00	1,00	1,25	1,00	1,00	1,00	1,25	1,00
1985 - 1989	1,00	0,83	1,33	1,00	1,00	0,83	1,33	1,00
1990 – 1994	0,83	0,67	1,17	1,00	0,83	0,67	1,17	0,80
1995 – 1999	0,67	0,67	0,92	0,88	0,67	0,67	0,92	0,60
> 2000	0,50	0,67	1,21	0,88	0,50	0,67	1,21	0,60

Table 19: correction factor for the NO_x regulation (IMO Annex VI)

Date of building	<i>g NO_x/kWh</i> (test cycle)	RPM	<i>g NO_x/kWh</i>	CorrNO _x
> 2000	14,5	290 - 2000	45*n ^{-0.2}	3,10*n ^{-0.2}
> 2000	14,5	> 2000	9,8	0,68

Table 20: correction factor for the % of MCR

% of MCR	HC	CO	NO _x	PM
85	0,84	0,70	0,97	0,97
80	0,87	0,76	0,97	0,98
75	0,89	0,82	0,98	0,98
70	0,92	0,88	0,98	0,99
65	0,95	0,94	0,99	0,99
60	0,98	1,00	0,99	1,00
55	1,00	1,06	1,00	1,00
50	1,03	1,12	1,00	1,01
45	1,09	1,23	1,01	1,01
40	1,16	1,38	1,02	1,03
35	1,27	1,56	1,03	1,05
30	1,42	1,80	1,04	1,08
25	1,65	2,14	1,06	1,12
20	2,02	2,66	1,10	1,19
15	2,74	3,51	1,17	1,32
10	4,46	5,22	1,34	1,63
0	0,00	0,00	0,00	0,00

6.2.2. MOTORES AUXILIARES: Factores de Emisión según la Tecnología

Para tecnología relacionada con los factores de emisión para HC, CO, NO_x y PM de los motores auxiliares se consideran aquellos del proyecto EMS, al igual que en los motores principales.

Se calculan a partir de la combinación de los factores básicos (kg/tn) y los factores de corrección de la edad tecnológica.

$$Factor\ Emisión\ \left(\frac{kg}{tn}\right) = Factor\ Básico\ Emisión\ \left(\frac{kg}{tn}\right) \times CorrEdad$$

Los factores básicos y factores de corrección de la edad tecnológica vienen presentados en las siguientes tablas, respectivamente.

No es necesaria una corrección para la regulación de las emisiones NO_x ya que estas emisiones debidas a los motores auxiliares es inferior a los valores máximos establecidos en el Anexo VI del Convenio MARPOL.

Table 24: basic emission factors (kg/tonne) for an auxiliary

EF (kg/tonne)	Heavy fuel oil	Diesel and gas oil
HC	5,1	5,1
CO	19,1	19,1
NO _x	43	43
PM	3,4	2,6

Table 25: correction factor for the age of the auxiliary

Date of building	Heavy fuel oil				Diesel and gas oil			
	HC	CO	NO _x	PM	HC	CO	NO _x	PM
< 1974	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1975 – 1979	0,69	0,84	1,33	1,03	0,69	0,84	1,33	1,00
1980 – 1984	0,61	0,72	1,56	1,06	0,61	0,72	1,56	1,04
1985 – 1989	0,53	0,62	1,70	1,06	0,53	0,62	1,70	0,88
1990 – 1994	0,45	0,52	1,49	1,06	0,45	0,52	1,49	0,69
1995 – 1999	0,39	0,46	1,26	1,00	0,39	0,46	1,26	0,58
> 2000	0,29	0,39	0,93	1,03	0,29	0,39	0,93	0,58

La información de los datos de los buques utilizada para los cálculos de este estudio ha sido extraída de *Lloyd's Register Fairplay*, a partir de una base de datos actualizada de creación propia.

6.3. CÁLCULO DE LAS EMISIONES

Para determinar las emisiones producidas por la operación del buque en su viaje, se multiplica la energía / combustible utilizado por el factor de emisión correspondiente. Este sistema de cálculo hace una distinción entre las emisiones emitidas por la tecnología del motor y las emisiones emitidas por el tipo de combustible.

6.3.1. Cálculo de las emisiones relacionadas con la tecnología

▪ Energía utilizada (kWh)

Se obtiene multiplicando la potencia de la etapa del viaje por la duración de dicha etapa:

$$\text{Energía usada (kWh)} = \text{Potencia (kW)} \times \text{Duración (h)}$$

La energía utilizada es dependiente de la potencia máxima instalada en el buque y el porcentaje empleado de la carga del motor:

$$\text{Potencia (kW)} = \% \text{ MCR} \times \text{Potencia Total Instalada (kW)}$$

▪ Factores de emisión relacionados con la Tecnología (g/kWh)

Las emisiones de CO, HC, NOx y PM son emisiones que dependen de la tecnología. Se utilizan los factores del proyecto EMS para el estudio.

▪ **Emisiones por la Tecnología usada (toneladas)**

Finalmente, se pueden calcular las emisiones de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Emisiones (toneladas)} = \text{Factor Emisión} \left(\frac{g}{kWh} \right) \times \text{Energía Usada} \times 10^{-6}$$

6.3.2. Cálculo de las emisiones relacionadas con el combustible

▪ **Combustible utilizado (toneladas)**

Se calcula la cantidad de combustible empleado multiplicando la energía utilizada por el consumo específico de combustible y por un factor de 1,1 para obtener un consumo de combustible real más práctico.

$$\text{Combustible (tn)} = \text{Energía Usada (kWh)} \times \text{Cons. Esp. Comb} \left(\frac{g}{kWh} \right) \times 1,1 \times 10^{-6}$$

$$\text{Consumo Específico Combustible} \left(\frac{g}{kWh} \right) = \frac{\text{Valor Calorífico del combustible} \left(\frac{g}{kWh} \right)}{\text{Eficiencia (\%)}}$$

El combustible específico utilizado depende de los siguientes factores:

- Tipo del motor principal
- % de la carga del motor (% MCR)
- Edad del motor

A partir de los datos del buque y por tanto, el modelo y características técnicas proporcionadas por el fabricante de los motores de los buques en estudio, se puede realizar el cálculo de este parámetro. Aunque los rangos de valores utilizados y recomendados en la metodología MOPSEA son los siguientes:

Tipos de motor	Consumo Específico de Combustible (g/kWh)
Motor de 2 Tiempos	157 – 218
Motor de 4 Tiempos	185 - 235

Tabla. Rango de valores de Consumo Específico de Combustible según el tipo de motor
[Fuente: Metodología MOPSEA]

▪ **Factores de emisión relacionados con el combustible (kg/tonelada)**

Las emisiones relacionadas con el combustible son los CO₂ y SO₂. Los valores de factores de estas emisiones se encuentran en las tablas de los apartados anteriores.

▪ **Emisiones relacionadas con el combustible (toneladas)**

Finalmente, para calcular las emisiones según el tipo de combustible, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Emisiones \text{ (toneladas)} = \text{Factor Emisión} \left(\frac{kg}{tn} \right) \times \text{Combustible usado (tn)} \times 10^{-3}$$

6.3.3. Cálculo de las emisiones por los Motores Auxiliares

Se considera que la energía usada en los motores auxiliares es para el funcionamiento del aire acondicionado, la ventilación, los requisitos de estancia en puerto y precalentamiento del combustible pesado, entre otros pequeños usos también. Por tanto, los valores de energía utilizada que se tomarán son los representados en la siguiente tabla, según el tipo de buque:

Tipo de Buque	Potencia Auxiliar (kW)
Buque de Carga Seca a Granel	300
Buque de Carga General	300
Buque de Pasaje (Ferry, Crucero, etc.)	500

Tabla. Potencia de los Motores Auxiliares según el tipo de Buque

El modelo de cálculo MOPSEA también tiene en cuenta la energía extra usada para los contenedores TEU refrigerados. Se calculan el gasto extra de energía de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Energía usada (kWh) = \text{Cantidad TEU Refrigerados} \times 5(kW) \times \text{Duración Refr. (h)}$$

$$\text{Duración de la Refrigeración (h)} = \frac{1}{2} \times \text{Duración (h)}$$

En cuanto al consumo específico de combustible, también depende de la edad del motor auxiliar, pero se asume que es aproximadamente igual que en los motores principales, y se utiliza el valor comprendido entre el rango 200-235 g/kWh. En este estudio, se utilizará el indicado por el fabricante de los motores, a partir de sus especificaciones técnicas.

Los demás cálculos se realizan utilizando las fórmulas para los motores principales.

BIBLIOGRAFÍA / FUENTES

- Information on North American Emission Control Area (ECA) Under Marpol Annex VI – MEPC. 1/Circ. 723 IMO
- Information on the United States Caribbean Sea Emission Control Area Under MARPOL ANNEX VI – MEPC. 1/Circ. 755 IMO

<http://www.oceanox.co.uk/legislation/index.html>

[http://www.ukpandi.com/fileadmin/uploads/uk-pi/Photos/LP_Bulletin_Photos/MEPC.190\(60\)_Revised_MARPOL_Annex_VI_North_American_ECA.pdf](http://www.ukpandi.com/fileadmin/uploads/uk-pi/Photos/LP_Bulletin_Photos/MEPC.190(60)_Revised_MARPOL_Annex_VI_North_American_ECA.pdf)

<http://www.bpoports.com/> - Junio 2014

<http://cleantech.cnss.no/policies-and-instruments/nox-emissions/> - Julio 2014

<http://www.helcom.fi> – Julio 2014

http://www.balticmaster.org/media/files/general_files_706.pdf

BIBLIOGRAFÍA

http://www.interferry.com/2011papers/10-4Presentation_Sonzio.pdf

http://ec.europa.eu/transport/modes/maritime/events/doc/2011_06_01_stakeholder-event/item9.pdf

Bibliografía:

<http://www.Fjordline.com>

http://www.colorline-cargo.com/prices/baf_adjustments

<http://www.colorline-cargo.com/prices>

Makela, k. 2009, "Unit emissions of ferries and Ro-Pax",

www.lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/vesiliikenne/autolauttae.htm

TML y NECL (2010) COMPASS – "COMPetitiveness of EuropeAn Short-sea freight compared with road and rail transport".

Tzannatos, E. 2010, Ship emissions and their externalities for Greece.

<http://www.tmleuven.be/expertise/emissies/home.htm>